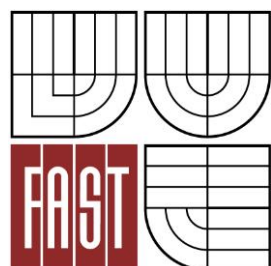




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

# **STOCHASTICKÉ GENEROVÁNÍ SRÁŽEK POMOCÍ VYBRANÝCH GENERÁTORŮ POČASÍ**

GENERATING OF STOCHASTIC RAINFALL DATA USING BY SPECIFIC WEATHER GENERATOR

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**KATEŘINA KNOPPOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. DANIEL MARTON, Ph.D.**

BRNO 2016



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodního hospodářství krajiny

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Kateřina Knoppová

**Název** Stochastické generování srážek pomocí  
vybraných generátorů počasí

**Vedoucí bakalářské práce** Ing. Daniel Marton, Ph.D.

**Datum zadání  
bakalářské práce** 30. 11. 2015

**Datum odevzdání  
bakalářské práce** 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....  
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

LARS-WG, A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies, Version 3.0, User Manual, 2002

Semenov MA & Stratonovitch P (2010) The use of multi-model ensembles from global climate models for impact assessments of climate change. *Climate Research* 41:1-14

MARTON, D.; MENŠÍK, P.; STARÝ, M.: RCPNV; RCPNV Rozdělení a čáry překročení náhodné veličiny. <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>. URL: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>. (software)

## **Zásady pro vypracování**

Cílem práce je studium témat změn klimatu, emisních scénářů SRES, globálních GCM a regionálních RCM klimatických modelů, které jsou nezbytným základem k práci se softwarem LARS WG (Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies). Na základě uvedených znalostí pochopit práci s programem LARS WG a na podkladě měřených dat Meteostanice VUT dále vygenerovat testovací řadu denních úhrnů srážek pro tři budoucí období. Získané data posléze vhodně analyzovat a interpretovat pro jejich budoucí využití. Výstupem práce bude širší podvědomí o změnách klimatu, znalost práce se softwarem LARS WG a vytvoření pracovního postupu analýzy generovaných dat. Souhrn výstupů z bakalářské práce pak bude možné aplikovat na další práci týkající se dopadu klimatických změn na vodní nádrž, resp. soustavu nádrží v ČR.

## **Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

Ing. Daniel Marton, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **Abstrakt**

Cílem práce je studium témat změn klimatu, emisních scénářů SRES, globálních GCM a regionálních RCM klimatických modelů, které jsou nezbytným základem k práci se softwarem LARS WG (Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies). Na základě uvedených znalostí s programem LARS WG a na podkladě měřených dat meteorologické stanice VUT se vygeneruje testovací řada denních úhrnů srážek a teplot pro tři budoucí období. Získaná data budou analyzována a interpretována pro jejich budoucí využití.

## **Klíčová slova**

Generátor počasí, klimatické scénáře, LARS WG, změna klimatu

## **Abstract**

The aim of this work is to study the topics of climate change, SRES emission scenarios, global GCM and regional RCM climate models, which are necessary basis for using the LARS WG software (Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies). Based on given knowledge using LARS WG the testing time series of daily precipitation and temperatures data will be generated for three future time periods. The observed weather data from the Meteorostation VUT was used. Generated data will be analysed and interpreted for its future uses.

## **Keywords**

Weather generator, climate change scenarios, LARS WG, climate change

### **Bibliografická citace VŠKP**

Kateřina Knoppová *Stochastické generování srážek pomocí vybraných generátorů počasí*. Brno, 2016. 52 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Daniel Marton, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....

podpis autora

Kateřina Knoppová

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Danielu Martonovi, Ph.D. za možnost zpracovávat tak zajímavé téma, za odborné vedení, čas, kterým mi věnoval a nevyčerpatelnou trpělivost. Dále bych chtěla poděkovat své rodině za shovívavost a podporu nejen při studiu.

# 1 OBSAH

<b>2</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ .....</b>	<b>2</b>
3.1	IPCC.....	2
3.2	KLIMATICKÉ SCÉNÁŘE.....	2
3.3	KLIMATICKÉ MODELÝ .....	3
3.4	GENERÁTORY POČASÍ .....	4
<b>4</b>	<b>CÍL PRÁCE .....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>METODA.....</b>	<b>7</b>
5.1	ZJEDNODUŠUJÍCÍ PŘEDPOKLADY.....	7
5.2	PŘÍPRAVA DAT .....	7
5.3	PRÁCE SE SOFTWAREM .....	8
5.4	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....	8
5.4.1	ROČNÍ PRŮMĚRNÉ ÚHRNY SRÁŽEK.....	9
5.4.2	MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÉ ÚHRNY SRÁŽEK.....	9
5.4.3	SMĚRODATNÁ ODCHYLKA OD PRŮMĚRNÉHO DENNÍHO ÚHRNU SRÁŽEK .....	10
5.4.4	ROČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA.....	10
5.4.5	MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA.....	11
<b>6</b>	<b>PRAKTICKÁ APLIKACE .....</b>	<b>12</b>
6.1	PŘÍPRAVA DAT .....	12
6.2	GENEROVÁNÍ DAT V PROGRAMU LARS-WG .....	15
6.2.1	SITE ANALYSIS .....	16
6.2.2	QTEST .....	16
6.2.3	GENERATOR.....	16
6.3	VYHODNOCENÍ DAT .....	19
6.3.1	ÚPRAVA DAT .....	20
6.3.2	ROČNÍ PRŮMĚRÝ ÚHRN SRÁŽEK A JEHO ZMĚNY .....	20
6.3.3	MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÉ ÚHRNY SRÁŽEK.....	22
6.3.4	MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÉ ÚHRNY SRÁŽEK PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE A JEJICH ZMĚNY .....	25



6.3.5	SMĚRODATNÁ ODCHYLKA PRŮMĚRNÉHO DENNÍHO ÚHRNU SRÁŽEK V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH.....	27
6.3.6	ROČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA.....	31
6.3.7	MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA.....	33
6.3.8	MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE.....	36
<b>7</b>	<b>SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>39</b>
7.1	ROČNÍ PRŮMĚRNÝ ÚHRN SRÁŽEK A JEHO ZMĚNY .....	39
7.2	MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÝ ÚHRN SRÁŽEK A JEHO ZMĚNY .....	39
7.2.1	MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÝ ÚHRN SRÁŽEK .....	40
7.2.2	ZMĚNY V MĚSÍČNÍM PRŮMĚRNÉM ÚHRNU SRÁŽEK .....	40
7.3	SMĚRODATNÁ ODCHYLKA OD DENNÍHO ÚHRNU SRÁŽEK .....	41
7.4	ROČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA A JEJÍ ZMĚNY .....	42
7.5	MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA A JEJÍ ZMĚNY.....	42
7.5.1	MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA .....	43
7.5.2	ZMĚNY V MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÉ TEPLITĚ .....	43
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM CITACÍ .....</b>	<b>47</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>48</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>50</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>52</b>

## 2 ÚVOD

V současné době zaznamenáváme na našem území prokazatelné změny klimatu. Stále častěji se potýkáme s extrémními jevy počasí, jako jsou povodně, způsobené intenzivními srážkami, a sucha, která vedou k alarmujícímu snížení zásob podzemní i povrchové vody. Z ročního chodu počasí se vytrácí typická sezónnost mírného podnebného pásu. Rok 2015 byl z hlediska meteorologických měření v globálním měřítku extrémní. I v rámci České republiky dosahoval rekordů – průměrná roční teplota dosáhla podle Českého hydrometeorologického ústavu 9,4°C, což je o 1,9°C více než dlouhodobý normál teploty. Zaznamenat jsme také mohli rekordně nízký roční úhrn srážek – pouze 532 mm, což znamená snížení o 21 % oproti dlouhodobému normálu.

Tyto jasně viditelné změny klimatu nemůžeme přehlížet a jako společnost na ně musíme reagovat přijetím určitého stanoviskem. Jednou z možností je snaha o co největší zmírnění antropogenních vlivů na klimatické změny. Současná politika nahrává spíše možnosti tyto změny přijmout a přizpůsobit se jim. Pokud se na ně ale chceme adaptovat nebo je zmírnit, musíme je nejprve popsat a určit jejich možný vývoj. Existují nástroje, které pracují s projekcemi klimatické změny. Jedna z organizací, která se touto problematikou zabývá je Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC), který popisuje scénáře možného vývoje klimatu. Na základě těchto scénářů můžeme budoucí klima modelovat a získávat tak cenné informace o možné budoucnosti této planety v závislosti na různých směrech vývoje lidské společnosti.

Ve vodním hospodářství můžeme výsledky modelování budoucího klimatu využít pro určení možných budoucích průtoků ve vodních tocích, objemu vody ve vodních nádržích, budoucího režimu podzemních vod a obecně hydrologie v povodí. Za základě těchto poznatků tedy máme možnost predikovat změny ve vodní bilanci krajiny a adekvátně se jako lidská společnost na tyto změny připravit.

### 3 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

V současné době většina zdrojů potvrzuje, že klima planety Země se znatelně mění. S velkou pravděpodobností je tato změna zapříčiněna nejen přirozenými, ale i antropogenními vlivy. Z toho důvodu je v dnešní době obecně podporován výzkum v oblasti klimatických změn.

#### 3.1 IPCC

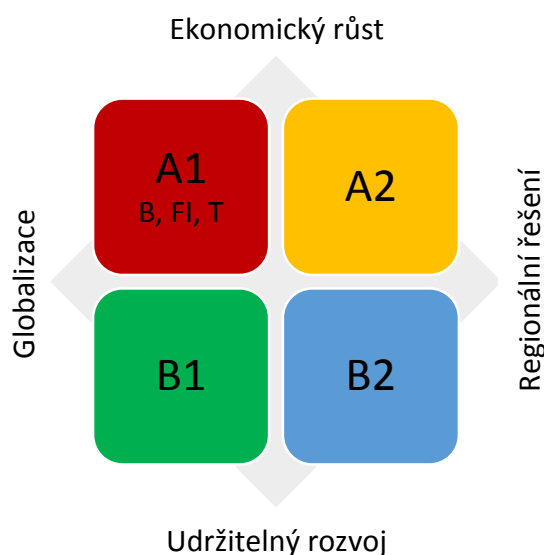
Jednou z vědeckých organizací, zabývajících se studiem změn klimatu, je IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) – Mezivládní panel pro změnu klimatu. Tato instituce byla založena v roce 1988 dvěma organizacemi OSN – Světovou meteorologickou organizací (WMO) a Programem OSN pro životní prostředí (UNEP). Náplní práce IPCC je zejména snaha o popsání nebezpečí antropogenních klimatických změn v závislosti na možném vývoji společnosti a jejich budoucích důsledků. Mimo jiné zkoumá také možnosti přizpůsobení se těmto změnám a navrhuje chování vhodné k zmírnění jejich účinků. Jednou za několik let vydává IPCC takzvané Hodnotící zprávy, ve kterých definuje současný stav klimatu a možné scénáře jeho budoucího vývoje. První zpráva byla vydána v roce 1990 (First Assessment Report – FAR), druhá v roce 1995 (SAR), třetí v roce 2001 (TAR), čtvrtá v roce 2007 (AR4) a zatím poslední a aktuální v roce 2014 (AR5). Kromě těchto Hodnotících zpráv vydává IPCC i jiné studie, například zprávy Speciální. Jednou z těchto Speciálních zpráv je zpráva Emisní scénáře z roku 2000, která definuje emisní scénáře typu SRES (Special Report Emissions Scenarios), které jsou používány v této práci. Tyto scénáře zohledňují různé aspekty společenského a ekonomického vývoje společnosti a vývoje v oblasti získávání a spotřeby energie. V aktuální páté Hodnotící zprávě (AR5) jsou používány scénáře typu RCP (Representative Concentration Pathways), které už v názvech jednotlivých scénářů poskytují informace o budoucích koncentracích skleníkových plynů. Scénáře typu SRES i RCP jsou klimatické scénáře, které jsou nazvány emisními proto, že budoucí klima charakterizují zejména pomocí možných budoucích koncentrací skleníkových plynů v atmosféře. Oba typy scénářů jsou založeny na výstupech z klimatických modelů.

#### 3.2 KLIMATICKÉ SCÉNÁŘE

Klimatický scénář můžeme obecně popsat jako pravděpodobné vyjádření budoucího klimatu, vytvořené pro použití při studiu potenciálních dopadů antropogenní klimatické změny. Musí zahrnovat antropogenně podmíněnou změnu klimatu i jeho změnu přirozenou. Většinou popisuje i současný stav klimatu pomocí takzvané Baseline – referenčního období (pro většinu scénářů 1961 - 1990). Vlastní scénář je

udáván jako soubor změn oproti tomuto referenčnímu období. Klimatický scénář není předpověď, spíše popis alternativ pravděpodobného budoucího stavu s ohledem na podmínky, za kterých se může vyskytnout.

Klimatickými scénáři používanými v této práci jsou Emisní scénáře SRES, definované IPCC v AR4. SRES definuje 4 základní rodiny scénářů – A1, A2, B1 a B2, které se liší možným směrem vývoje společnosti. A1 se dá zjednodušeně popsat jako scénář globalizovaného světa s rychlým růstem ekonomiky a vývojem nových technologií. Je rozdělován na dílčí scénáře A1FI (Fossil Intensive), který reprezentuje budoucí intenzivní využívání fosilních paliv, AIT (Non-Fossil) – bez fosilních paliv a A1B (Balanced), který popisuje vyvážené využívání všech zdrojů energie. Scénář A2 reprezentuje heterogenní svět s regionálními rozdíly a silným růstem ekonomiky. B1 zastupuje globalizovaný svět s rychlým rozvojem služeb a informačních technologií a snahou o udržitelný rozvoj. Scénář B2 je popisován jako scénář světa s regionálními rozdíly, který kladě důraz na řešení problémů životního prostředí a snaží se o udržitelný rozvoj.

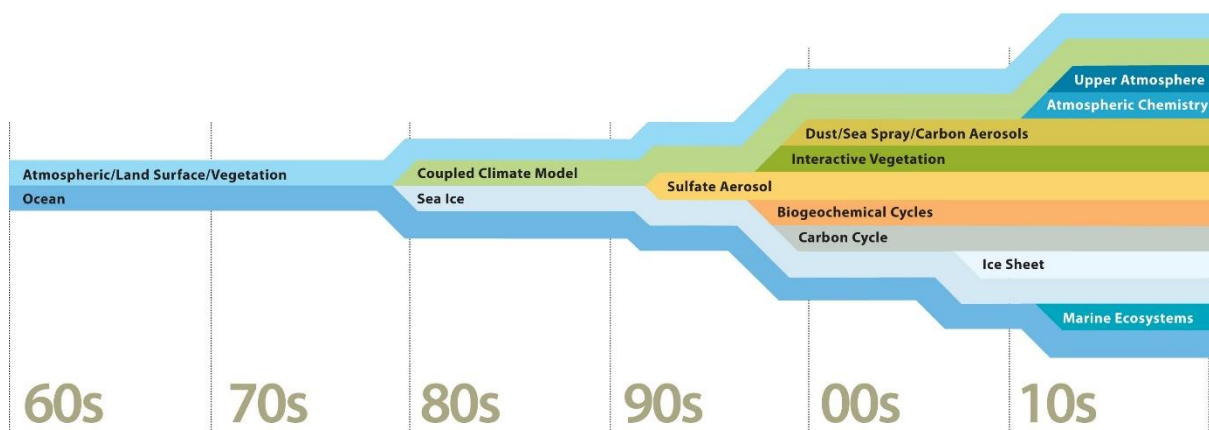


Obr. 3.2-1 Zjednodušené schéma scénářů SRES IPCC podle vývoje společnosti

### 3.3 KLIMATICKÉ MODELÝ

Pro odhad budoucího klimatu jsou vytvářeny a používány klimatické modely. Příprava těchto modelů zahrnuje modelový popis klimatického systému a v něm probíhající procesů na úrovni současného poznání. Následuje odborný odhad předpokládaného vývoje světové makroekonomiky, demografie, využívání zdrojů energie, technologií a dalších socioekonomických faktorů. Potom může být provedena modelová projekce budoucího vývoje.

Základními modely jsou takzvané GCMs (Global climate model/General Circulation Model) – Globální klimatické modely/Všeobecné modely proudění. Jedná se o matematické modely klimatického systému, založené na pohybových a termodynamických rovnicích. Každý globální klimatický model pracuje v určitém horizontálním a vertikálním rozlišení. Dnešní modely mají typické horizontální rozlišení 2 až 4° zeměpisní šířky/délky v atmosférické části modelu a 0,5 - 1° v části oceánické, jejich vertikální rozlišení je 25 až 40 vrstev nad pevninou a 20 až 30 nad oceány. GCM je schopen popsat pouze klimatické jevy většího měřítka, než je jeho vlastní rozlišení. Na Obr. 3.3-1 vidíme historický vývoj složek zahrnutých do klimatických modelů podle stáří modelu. V začátcích modelování klimatu byly používány pouze modely atmosféry, oceánu a zemského povrchu, dále se přidávaly modely mořského ledu, síranových částic, ostatních aerosolů, uhlíkový a biochemický cyklus, vegetace, ledový příkrov a dnes modely pracují i s atmosférickou chemií, horní atmosférou a mořským ekosystémem. Globálním klimatickým modelem, ze kterého pocházejí klimatické scénáře použité v této práci, je model HadCM3.



Obr. 3.3-1 Vývoj množství složek zahrnutých do GCMs [1]

Globální klimatické modely mají poměrně hrubé rozlišení. Jednou z technik downscalingu, tedy zmenšování jejich měřítka, je použití takzvaných RCMs – Regionálních klimatických modelů. Jsou to modely klimatu, které provádějí výpočet pouze pro omezenou geografickou oblast. Jejich okrajové podmínky jsou převzaty z některého GCM. Nejznámějšími projekty, které se zabývají vývojem regionálních klimatických modelů pro Evropu, jsou projekty ENSEMBLES a PRUDENCE. Další možností jak zmenšit měřítko GCM je použití některého z generátorů počasí.

### 3.4 GENERÁTORY POČASÍ

Jak již bylo řečeno, generátor počasí (WG – Weather Generator) je v této práci používán jako nástroj k zjemnění rozlišení GCM tak, abychom byli schopni zkoumat

změnu klimatu v konkrétní lokalitě a získali denní hodnoty požadovaných meteorologických veličin. Na rozdíl od GSMs se neřídí rovnicemi fyzikálních procesů, ale statistickými charakteristikami skutečných řad meteorologických veličin a jejich použití je méně náročné na výpočetní výkon. Na základě reálné měřené řady dat vytvoří řadu syntetickou o libovolné délce pro konkrétní lokalitu. Většina generátorů počasí pracuje ve dvou krocích – prvním je modelování denních hodnot srážek, druhým je modelování zbylých proměnných, jako jsou denní maximální a minimální teploty, sluneční záření, vlhkost a rychlost větru. Existují dva základní typy generátorů počasí - Richardson a Serial. WGs typu Richardson (1981) v prvním kroku modelují výskyt takzvaných mokrých a suchých dní s využitím Markovova postupu, ve druhém kroku jsou potom modelovány konkrétní denní úhrny srážek. Nakonec jsou modelovány zbývající proměnné na základě jejich korelací s mokrými/suchými dny a mezi sebou navzájem. Nevýhodou generátorů typu Richardson je jejich neschopnost adekvátně popsat délky suchých a mokrých období, které mohou být pro projekci budoucího klimatu velmi důležité, zejména když se bavíme o hydrologické bilanci. Proto byl vyvinut alternativní typ generátoru – typ Serial (Racsko et al., 1991). Ten v prvním kroku modeluje mokrá a suchá období a potom teprve další proměnné v závislosti na nich. Známými generátory počasí jsou například americké generátory GEM, USCLIMATE WGEN, britský ClimGen, LARS WG, EARWIG nebo SDSM. Generátorem počasí, používaným v této práci je LARS WG (Long Ashton Research Station Weather Generator), který patří mezi generátory typu Serial.

## 4 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat meteorologická data, získaná z Meteostanice FAST VUT, do formy, vhodné pro stochastický generátor počasí LARS WG, na základě těchto dat vygenerovat syntetické denní řady meteorologických charakteristik pro tři scénáře vývoje klimatu a tři budoucí období a následně tato data vhodně porovnat.

Pro porovnávání byly vybrány scénáře SRES A1B, A2 a B1 z klimatického modelu HadCM3, popsané ve čtvrté hodnotící zprávě IPCC (AR4).

## 5 METODA

### 5.1 ZJEDNODUŠUJÍCÍ PŘEDPOKLADY

První zjednodušující předpoklad plyne z nedostatků ve vstupních datech. Měřené meteorologické charakteristiky získané z Meteorologické stanice FAST VUT nemají ideální požadovanou délku ani kvalitu. První sada dat (1996 – červen 2006) obsahuje měření ze čtyř teploměrů, jejichž měření se výrazně liší – průměrný největší rozdíl mezi dvěma teploměry ve stejném čase měření je  $1,67^{\circ}\text{C}$  po vyloučení očividně chybných dat. Informace o srážkách v první sadě dat pocházejí ze dvou ombrografů, jejichž měření si navzájem také neodpovídají. Druhá sada (2008 – červen 2015) je co se týče teplot vyrovnanější (dva teploměry - průměrný rozdíl  $0,3^{\circ}\text{C}$ ). Průměrný rozdíl v automatickém měření dvou srážkoměrů je 0,17 mm. Celá řada denních měřených hodnot má tedy 16 let, přerušených mezi roky 2006 a 2008 dvouletou mezerou. Program LARS WG, používaný v této práci pro generování syntetických řad, doporučuje jako vstupní data řady o délce 20 – 30 let, ideálně ještě delší.

Druhé zjednodušení plyne z toho, že meteorologická data byla zpracována pouze na základě subjektivních domněnek, nebyla použita žádná odborná metodika.

Určitým zjednodušením je i to, že z měřených dat byla pomocí programu LARS WG vygenerována umělá 30 letá řada Baseline. Tato řada je v této práci používána jako referenční období, se kterým jsou porovnávány změny jednotlivých scénářů vývoje klimatu.

Dalším zjednodušujícím předpokladem je fakt, že práce nebyla řešena v podmínkách nejistot výpočtů programu LARS WG ani nejistot klimatických modelů a scénářů. Syntetické řady byly generovány na základě pouze jedné varianty random seed a pro popis scénářů vývoje klimatu byl použit pouze jeden vybraný klimatický model, implementovaný v konkrétním generátoru počasí.

### 5.2 PŘÍPRAVA DAT

Klíčovým bodem celé práce je získání dostatečně dlouhé časové řady denních měření požadovaných meteorologických veličin, vztažených ke konkrétnímu místu. Program LARS-WG doporučuje použití denních záznamů z alespoň 20 – 30 let, ideálně ale co nejdelší, aby bylo možné postihnout některé méně časté klimatické jevy. Měřené hodnoty, ze kterých LARS-WG vychází při generování umělých řad, jsou maximální a minimální denní teplota v  $^{\circ}\text{C}$ , denní úhrn srážek v mm a sluneční záření v  $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$  (případně délka slunečního svitu v hodinách). Data musí být převedena do textového



souboru s určitou strukturou, která je vysvětlena v kapitole 6.1. Generátor počasí dokáže řadu zpracovat, i když některá denní měření chybí. Pro LARS-WG není nutné mít k dispozici všechny měřené veličiny, dokáže pracovat například i pouze s údaji o srážkách. Pro další postup je důležité také zjištění zeměpisných souřadnic meteorologické stanice, ze které data pocházejí, a její nadmořské výšky.

### 5.3 PRÁCE SE SOFTWAREM

Generátorem počasí používaným v této práci je LARS WG, vytvořený Mikhailem A. Semenovem v rámci Rothamsted Research. Jde o generátor typu „serial“ (Racsco et al., 1991), takže dokáže popisovat mokrá a suchá období a denní hodnoty generovat v závislosti na nich. Statistické charakteristiky zpracovává na principu Fourierových řad. Vstupními daty pro LARS WG jsou denní řady měřených srážek [mm], minimálních a maximálních denních teplot [°C], případně slunečního záření [MJm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>] nebo délky slunečního svitu [h]. Výstupem jsou pak syntetické řady stejných meteorologických veličin o libovolné délce. Měřená data musíme nejprve upravit do struktury, vhodné pro tento software. Po vložení vstupních dat je prvním krokem SITE ANALYSIS – kalibrace modelu, kdy jsou analyzovány statistické charakteristiky vstupních dat. Další krok je QTEST - validace, kdy se porovnávají charakteristiky reálné řady dat a umělé řady Baseline. Posledním krokem je GENERATOR, který vytvoří požadovanou syntetickou řadu o stejné struktuře, jako mají vložená měřená data. Při modelování budoucího klimatu máme v programu LARS WG na výběr scénáře z 15 klimatických modelů IPCC z AR4 a 9 modelů projektu ENSEMBLES. Každý model dostupný v programu LARS obsahuje jeden nebo více scénářů. V této práci jsou používány scénáře z klimatického modelu HadCM3.

HadCM3 je globální klimatický model, vytvořený v Hadley Centre pro IPCC TAR. Byl použit jako hlavní model pro vytváření AR4 a přispěl i ke vzniku AR5. Jeho předchůdcem byl model HadCM2, používaný v IPCC SAR. Atmosférická část modelu HadCM3 má horizontální rozlišení 3,75°×2,5° (zeměpisná délka x zeměpisná šířka), tj. rozlišení cca 300 km. Ve vertikální rovině má k dispozici 19 úrovní. Model oceánu má horizontální rozlišení 1,25°×1,25° a 20 vertikálních úrovní.

Z klimatického modelu HadCM3 jsou v programu LARS WG k dispozici tři emisní scénáře – A1B, A2 a B1, definované podle AR4.

### 5.4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Generováním v programu LARS WG jsme získali 30leté syntetické řady pro tři klimatické scénáře ve třech obdobích a Baseline z klimatického modelu HadCM3 (AR4). Tyto denní řady teplot, minimálních a maximálních srážek bylo nutné

vhodným způsobem porovnat. Vybráno bylo srovnání ročních průměrných úhrnů srážek, měsíčních průměrných úhrnů srážek, směrodatné odchylky od průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících, roční průměrné teploty a měsíční průměrné teploty.

#### 5.4.1 ROČNÍ PRŮMĚRNÉ ÚHRNY SRÁŽEK

$$H_{s,r} = \sum_{i=1}^m H_{s,d_i} \quad (1)$$

kde  $H_{s,r}$  ... roční úhrn srážek v konkrétním roce [mm]  
 $H_{s,d_i}$  ... denní úhrny srážek v konkrétním roce [mm]  
 $i = 1, \dots, m$                        $m$  ... počet dní v roce

$$\bar{H}_{s,r} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{s,r_i}}{n} \quad (2)$$

kde  $\bar{H}_{s,r}$  ... průměrný roční úhrn srážek [mm/rok]  
 $H_{s,r_i}$  ... roční úhrny srážek v jednotlivých letech [mm]  
 $i = 1, \dots, n$                        $n$  ... počet let

#### 5.4.2 MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÉ ÚHRNY SRÁŽEK

$$H_{s,m} = \sum_{i=1}^m H_{s,d_i} \quad (3)$$

kde  $H_{s,m}$  ... měsíční úhrn srážek v konkrétním měsíci a roce [mm]  
 $H_{s,d_i}$  ... denní úhrny srážek v konkrétním měsíci a roce [mm]  
 $i = 1, \dots, m$                        $m$  ... počet dní v měsíci

$$\bar{H}_{s,m} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{s,m_i}}{n} \quad (4)$$

kde  $\bar{H}_{s,m}$  ... průměrný měsíční úhrn srážek [mm/měsíc]  
 $H_{s,m_i}$  ... měsíční úhrny srážek v konkrétním měsíci [mm]  
 $i = 1, \dots, n$                        $n$  ... počet let

### 5.4.3 SMĚRODATNÁ ODCHYLKA OD PRŮMĚRNÉHO DENNÍHO ÚHRNU SRÁŽEK

$$\bar{H}_{s,d,m} = \frac{\sum_{i=1}^m H_{s,d_i}}{m} \quad (5)$$

kde  $\bar{H}_{s,d,m}$  ... průměrný denní úhrn srážek v konkrétním měsíci a roce [mm/den]  
 $H_{s,d_i}$  ... denní úhrny srážek v konkrétním měsíci a roce [mm]  
 $i=1, \dots, m$                        $m$  ... počet dní v měsíci

$$\bar{H}_{s,d} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{H}_{s,d,m_i}}{n} \quad (6)$$

kde  $\bar{H}_{s,d}$  ... průměrný denní úhrn srážek v konkrétním měsíci [mm/den]  
 $\bar{H}_{s,d,m_i}$  ... průměrné denní úhrny srážek v konkrétním měsíci a roce [mm/den]  
 $i = 1, \dots, n$                        $n$  ... počet let

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m (H_{s,d_i} - \bar{H}_{s,d})^2} \quad (7)$$

kde  $\sigma$  ... směrodatná odchylka průměrného denního úhrnu srážek [mm/den]  
 $H_{s,d_i}$  ... denní úhrny srážek v konkrétním měsíci [mm]  
 $\bar{H}_{s,d}$  ... průměrný denní úhrn srážek v konkrétním měsíci [mm/den]  
 $i = 1, \dots, m$                        $m$  ... počet let x počet dní v konkrétním měsíci

### 5.4.4 ROČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA

$$T_r = \frac{\sum_{i=1}^m T_{d_i}}{m} \quad (8)$$

kde  $T_r$  ... průměrná roční teplota v konkrétním roce [°C]  
 $T_{d_i}$  ... průměrné denní teploty v konkrétním roce [°C]  
 $i = 1, \dots, m$                        $m$  ... počet dní v roce

$$\bar{T}_r = \frac{\sum_{i=1}^n T_{r_i}}{n} \quad (9)$$

kde  $\bar{T}_r$  ... průměrná roční teplota [°C]  
 $T_{r_i}$  ... průměrné roční teploty v jednotlivých letech [°C]  
 $i = 1, \dots, n$                        $n$  ... počet let

#### 5.4.5 MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^m T_{d_i}}{m} \quad (10)$$

kde  $T_m$  ... průměrná měsíční teplota v konkrétním měsíci a roce [°C]  
 $T_{d_i}$  ... průměrné denní teploty v konkrétním měsíci a roce [°C]  
 $i = 1, \dots, m$                        $m$  ... počet dní v měsíci

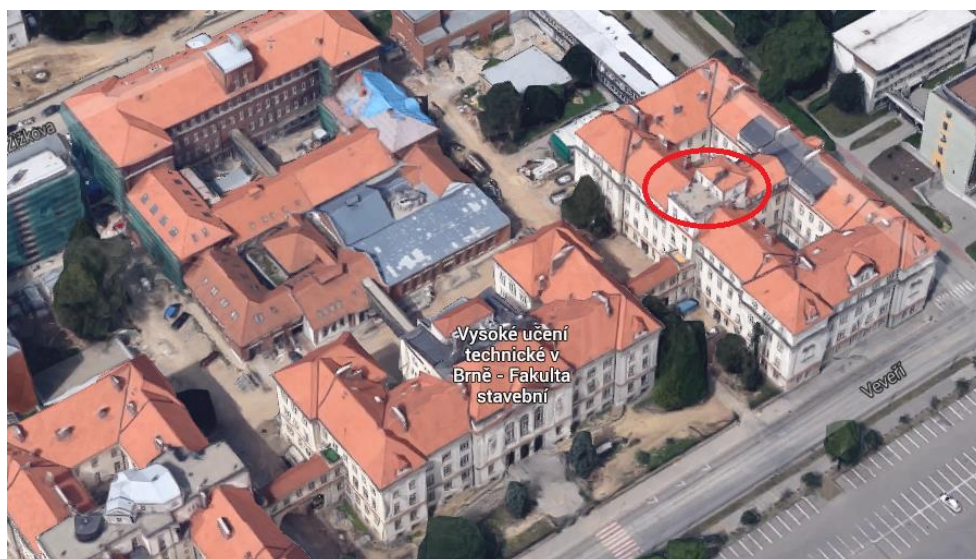
$$\bar{T}_m = \frac{\sum_{i=1}^n T_{m_i}}{n} \quad (11)$$

kde  $\bar{T}_m$  ... průměrná měsíční teplota [°C]  
 $T_{m_i}$  ... průměrné měsíční teploty v konkrétním měsíci v jednotlivých letech [°C]  
 $i = 1, \dots, n$                        $n$  ... počet let

## 6 PRAKTICKÁ APLIKACE

### 6.1 PŘÍPRAVA DAT

Měřená meteorologická data, která jsou použita v této práci, pocházejí z Meteorologické stanice FAST VUT, která je umístěna v areálu Fakulty stavební na ulici Veverí č. 95, v 6. nadzemním podlaží budovy C. Data byla dodána ve dvou částech s odlišnou strukturou.



Obr. 6.1-1 Umístění meteorologické stanice v areálu FAST VUT [2]

První část jsou data od roku 1996 do června 2006. Používané údaje z nich jsou hodinová měření teploty ( $^{\circ}\text{C}$ ) ze čtyř teploměrů a postupně načítaný úhrn srážek (mm) ze dvou ombrografů (Obr. 6.1-3).

Druhá část jsou data od roku 2008 do června 2015. Jde o denní záznamy maximální a minimální teploty ( $^{\circ}\text{C}$ ) a denního úhrnu srážek (mm) ze dvou automatických srážkoměrů.



Obr. 6.1-2 Pohled z meteorologické stanice FAST VUT [3]

Získaná data byla upravena podle požadavků programu LARS-WG, popsaných v uživatelské příručce. V první části dat bylo třeba převést hodinová měření teplot na denní maxima a minima. Nejprve byly vyloučeny chybné hodnoty měření. Potom byla ze všech měřených hodinových hodnot teploty v daném dni vybrána minimální a maximální hodnota teploty napříč měřeními všech čtyř teploměrů. Postupně načítaný úhrn srážek byl odečten tak, abychom měli konkrétní hodnoty úhrnu srážek v jednotlivých dnech z každého srážkoměru. Průměrný denní úhrn srážek byl získán zprůměrováním denní hodnoty dvou srážkoměrů. Pokud byla jedna z hodnot nulová, byla jako průměrný denní úhrn srážek volena hodnota měření druhého srážkoměru. Ve druhé části dat byly zprůměrovány denní úhrny srážek ze dvou srážkoměrů, ostatní data nepotřebovala úpravu.

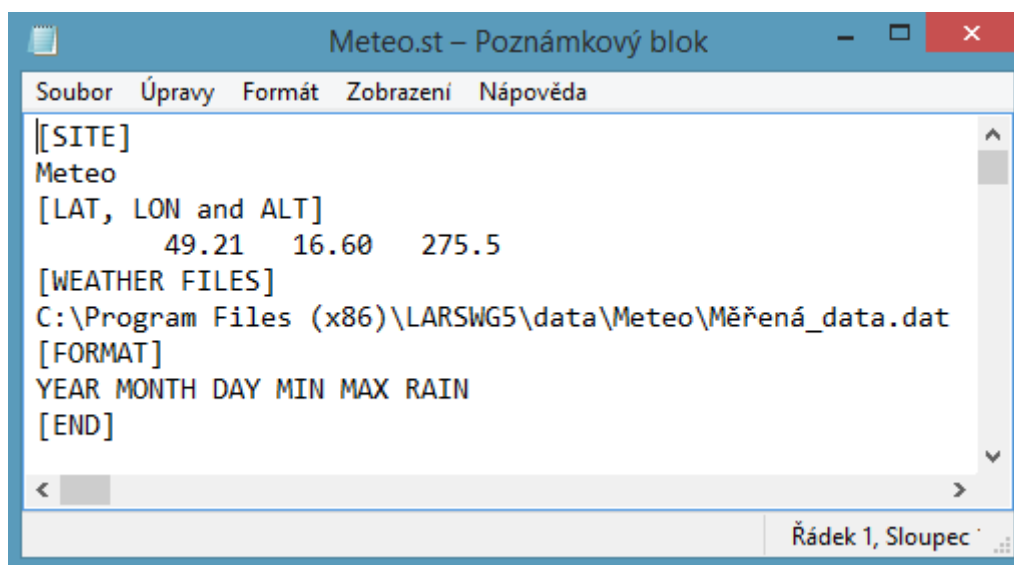
Obr. 6.1-3 První část dat z Meteostanice FAST s vyznačenými záznamy měření teplot (°C) a srážek (mm)

Aby data mohla být použita jako vstupní podklady pro generování v programu LARS-WG, je nutné nejdřív vytvořit řídicí soubor (Obr. 6.1-4), ve kterém specifikujeme jejich původ a strukturu. Vytvoříme si soubor s příponou .st, což je starý formát pro floppy disk neboli disketu. Do tohoto souboru v textovém editoru vypíšeme název, zeměpisnou šířku, délku a nadmořskou výšku meteorologické stanice FAST VUT (dále Meteo). Specifikujeme zde také přístupovou cestu k textovému souboru s měřeními daty. Poslední věcí určenou řídicím souborem je struktura měřených dat.

Pořadí a význam jednotlivých prvků řídicího souboru je následující:

- [SITE] – identifikační název meteorologické stanice
- [LAT, LON and ALT] – zeměpisná šířka, zeměpisná délka a nadmořská výška stanice
- [WEATHER FILES] – absolutní adresářová cesta k souboru s měřeními daty

- [FORMAT] – struktura měřených dat v souboru. Jednotlivé zkratky vysvětleny dále.
- [END] – konec vodícího souboru



Obr. 6.1-4 Řídicí soubor Meteo.st, obsahující informace o datech z meteorologické stanice FAST VUT, odkazující na soubor Měřená\_data.dat (Obr. 6.1-5)

Řídicí soubor odkazuje na textový soubor s měřenými daty a zároveň určuje jejich strukturu v části [FORMAT]. V případě našeho souboru Měřená\_data.dat (viz Obr. 6.1-5) jsou to rok (YEAR), měsíc (MONTH; 1 – 12), pořadí dne (JDAY; 1 – 365/366), minimální teplota (MIN; °C), maximální teplota (MAX; °C) a srážky (RAIN; mm).

#### **Poznámka:**

Další hodnoty, které mohou být použity ve struktuře dat a vodícím souboru jsou den v měsíci (DAY; 1 – 28/29/30/31) a sluneční záření (RAD; MJm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>) nebo délka slunečního svitu (SUN; h).

Sloupce s jednotlivými veličinami jsou od sebe odděleny tabulátorem (lze i mezerou). Chybějící data byla nahrazena hodnotou -99,0. Desetinným oddělovačem je pro LARSWG tečka.

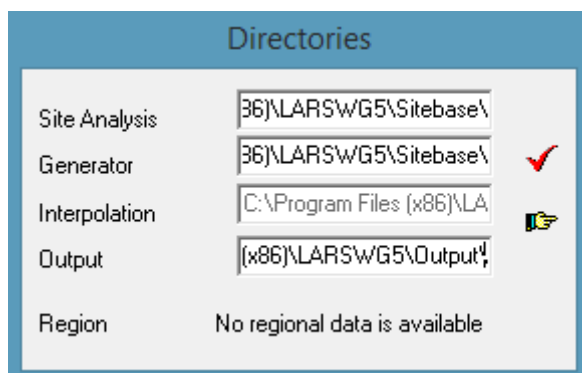
Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení	Nápořěda	
1995	12	13	-2.4	-2.0	0
1995	12	14	-3.4	-1.9	0
1995	12	15	-2.2	0.0	0
1995	12	16	-2.0	-0.3	0
1995	12	17	-0.8	0.3	0
1995	12	18	-0.6	-0.1	0
1995	12	19	-0.3	2.4	0
1995	12	20	0.6	2.5	0
1995	12	21	-5.0	0.0	9.6
1995	12	22	-3.7	-2.7	3
1995	12	23	-2.6	1.5	0
1995	12	24	1.8	8.2	0.6
1995	12	25	-0.1	1.7	1.8
1995	12	26	-0.6	1.2	0

Obr. 6.1-5 Soubor s měřenými daty, strukturovanými podle řídicího souboru Meteo.st

## 6.2 GENEROVÁNÍ DAT V PROGRAMU LARS-WG

Generování dat v programu LARS-WG probíhá ve třech základních krocích – Site Analysis, QTest a Generator v tomto pořadí. Následující popis postupu generování dat vychází z uživatelského návodu k programu LARS-WG.

Před začátkem generování je potřeba si zkontrolovat adresáře, kam se budou data ukládat, případně tyto cesty upravit s použitím tlačítka Options na hlavním panelu.



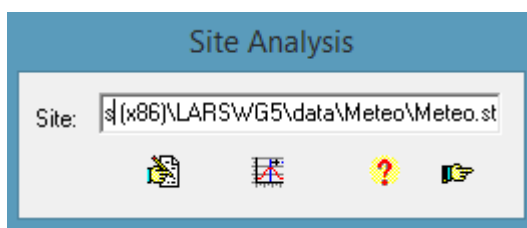
Obr. 6.2-1 Okno pro změnu adresářů, vyvolané tlačítkem Options



### 6.2.1 SITE ANALYSIS

Prvním krokem postupu je analýza dat. Spouští se přes tlačítko Analysis na hlavním panelu – možnost Site Analysis, kam zadáme adresu vodícího souboru a spustíme analýzu přes ikonu grafu. Pokud program během analýzy objeví chyby v datech, vypíše je do souboru Error.txt a s těmito konkrétními hodnotami dále nepočítá. Výsledkem analýzy dat je vytvoření dvou souborů:

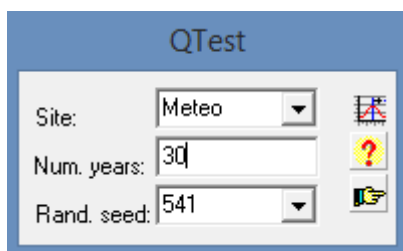
1. soubor s parametry (.wg)
2. soubor se statistickými charakteristikami (.sta)



Obr. 6.2-2 Okno Site Analysis s adresou řídicího souboru

### 6.2.2 QTEST

Dalším krokem je spuštění QTestu. Ten kontroluje schopnost programu simulovat klima v určené lokalitě. Spouští se tlačítkem Analysis na hlavním panelu – možnost QTest. Požaduje zvolení řídicího souboru, počtu generovaných let a random seed – násadu. Výsledkem testu je statistické porovnání umělé a měřené řady meteorologických charakteristik.



Obr. 6.2-3 Okno možností pro QTest

### 6.2.3 GENERATOR

Po zkalibrování programu LARS-WG s použitím měřených dat (SITE ANALYSIS) a ověřením správného fungování (QTEST) je možné přistoupit k samotnému generování umělých řad. Tento krok spustíme přes tlačítko Generator - Site na hlavním panelu programu, ikonou grafu.

**Site Scenario**

**Select a site**

Site:

**Select a climate scenario**

☐ Baseline

☐ Scenario File:

☒ IPCC 4 (CMIP3):

Emission:

Period:

☐ ENSEMBLES (EU):

Emission:

Period:

**Select Num years and rand.seed**

Num. years:

Rand. seed:

Obr. 6.2-4 Okno Generator s možnostmi pro generování umělé řady dat

Opět zvolíme řídicí soubor, počet let generované umělé řady dat a random seed. V rámci této práce byly používány 30leté řady. Random seed bylo voleno výchozí – 541. Při generování máme dvě základní možnosti. Buď generovat umělou řadu na základě měřených dat, která bude reprezentovat současnost, nebo použít klimatický scénář. V této práci byly používány obě možnosti.

Nejprve zvolíme možnost Baseline, která reprezentuje současnost (1961 – 1990). Ikonou grafu spustíme generování. Vygenerovaná řada se nachází v adresáři, který jsme si určili na začátku postupu pro Output (Obr. 6.2-1). Výstup se skládá ze dvou textových souborů – jeden s příponou .dat a druhý .st. První soubor (pro nás MeteoWG.dat) je vygenerovaná umělá řada denních měření (Obr. 6.2-5). Druhým vygenerovaným souborem ve složce je MeteoWG.st. Je to řídicí soubor pro generovaná data – určuje jejich strukturu (Obr. 6.2-6). Pořadí meteorologických veličin v něm je stejné, jako v řídicím souboru Meteo.st (Obr. 6.1-4). Generovaná data mají tedy stejnou strukturu jako soubor s měřenými daty (Obr. 6.1-5). V našem případě je to rok (YEAR), pořadí dne (JDAY; 1 – 365/366), minimální teplota (MIN; °C), maximální teplota (MAX; °C) a srážky (RAIN; mm).

	2.9	4.1	4.5	0.0
1	1	2.9	4.1	4.5
1	2	-0.8	3.4	0.0
1	3	-5.2	-3.5	0.0
1	4	-6.3	-3.6	0.0
1	5	-7.0	-1.9	0.0
1	6	-0.0	2.2	0.1
1	7	-0.7	0.8	0.3
1	8	-4.5	-2.0	0.0
1	9	-3.3	-0.7	0.0
1	10	-4.5	-1.9	0.0
1	11	-4.7	-3.5	0.0
1	12	-4.4	-4.3	0.0
1	13	-3.9	-2.7	0.0

Obr. 6.2-5 Výstup z generátoru - umělá řada denních meteorologických charakteristik

```

[SITE]
MeteoWG
[LAT, LON and ALT]
49.21 16.60 275.50
[WEATHER FILES]
MeteoWG.dat
[FORMAT]
YEAR JDAY MIN MAX RAIN
[END]

```

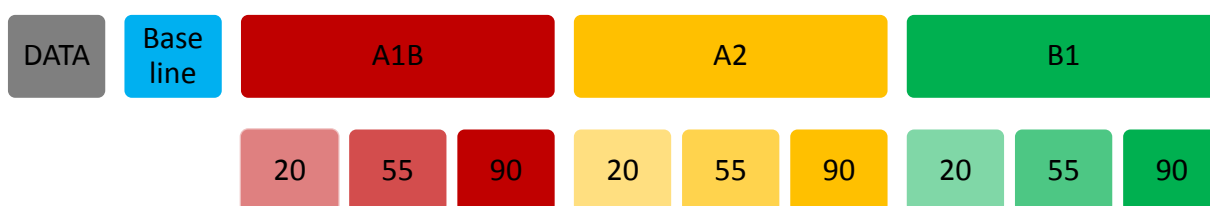
Obr. 6.2-6 Výstup z generátoru - řídicí soubor

Po vygenerování umělé Baseline řady přistoupíme k použití klimatických scénářů. LARS-WG 5 umožňuje práci s vybranými scénáři podle Ensembles a IPCC AR4. V obou variantách je možné si vybrat z několika modelů. Ve své práci používám scénáře podle IPCC AR4, model HadCM3, scénáře SRA1B (A1B), SRA2 (A2) a SRB1 (B1). Pro každý scénář v modelu HadCM3 existují tři definovaná časová období. Jsou to období 2011-2030, 2046-2065 a 2080-2099. Do konkrétního scénáře je možné nahlédnout přes ikonu dokumentu. Ikonou grafu generujeme postupně všechny tři scénáře modelu HadCM3 ve všech třech definovaných obdobích. Počet let generované řady ponecháváme 30 a random seed 541. Vygenerovaná data najdeme ve složce Output, mají stejnou formu jako umělá řada Baseline.

Tímto jsme vygenerovali všechna potřebná data a můžeme přistoupit k jejich zpracování.

### 6.3 VYHODNOCENÍ DAT

Byla vygenerována umělá řada Baseline, 3 řady pro scénář SRA1B (dále jen A1B), 3 řady pro SRA2 (dále jen A2) a 3 pro SRB1 (dále jen B1). Každá řada konkrétního scénáře je z jiného časového období. Jsou to období 2011-2030 (dále jen 20), 2046-2065 (dále jen 55) a 2080-2099 (dále jen 90). Vyhodnocuji také řadu reálných měřených dat (dále DATA).



Obr. 6.3-1 Schéma zpracovávaných dat

Vygenerovaná data byla posuzována ze dvou základních hledisek. První je posouzení z hlediska scénáře – srovnání tří období v konkrétním scénáři, DATA a Baseline. Druhé je hledisko období – srovnání tří scénářů v konkrétním období, DATA a Baseline.

Zvlášť byly porovnávány hodnoty srážek a teplot. Vyhodnocovány byly následující charakteristiky:

#### SRÁŽKY

- Roční průměrný úhrn srážek a jeho změny
- Měsíční průměrné úhrny srážek
- Měsíční průměrné úhrny srážek pro jednotlivé měsíce a jejich změny
- Směrodatná odchylka průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících

#### TEPLOTY

- Roční průměrná teplota a její změny
- Měsíční průměrná teplota
- Měsíční průměrná teplota pro jednotlivé měsíce a její změny

Vzhledem k velkému množství vyhodnocených dat byl pro srovnání v rámci jednotlivých měsíců vybrán měsíc Září s ohledem na největší změny meteorologických hodnot z pohledu scénářů i časových období právě v tomto měsíci. Výsledky z ostatních měsíců jsou dostupné v elektronické příloze této práce.

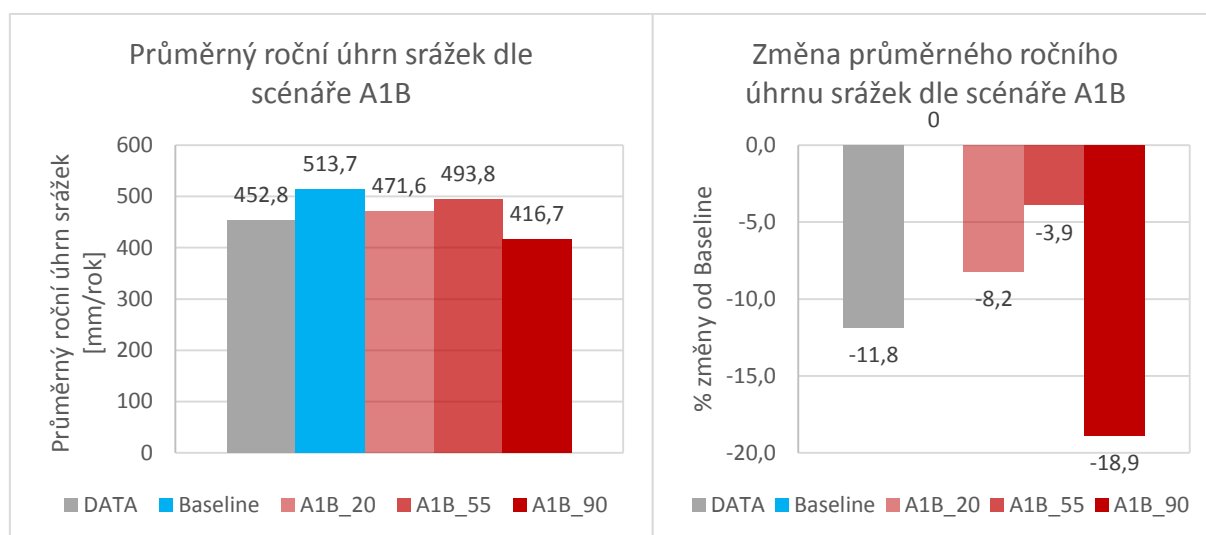
### 6.3.1 ÚPRAVA DAT

Vygenerované řady ve formátu .dat je třeba vyexportovat do programu Microsoft Excel. Pro každou umělou řadu byl vytvořen vlastní list, do kterého byl exportován příslušný vygenerovaný soubor .dat, jeden z listů jsou měřená DATA.

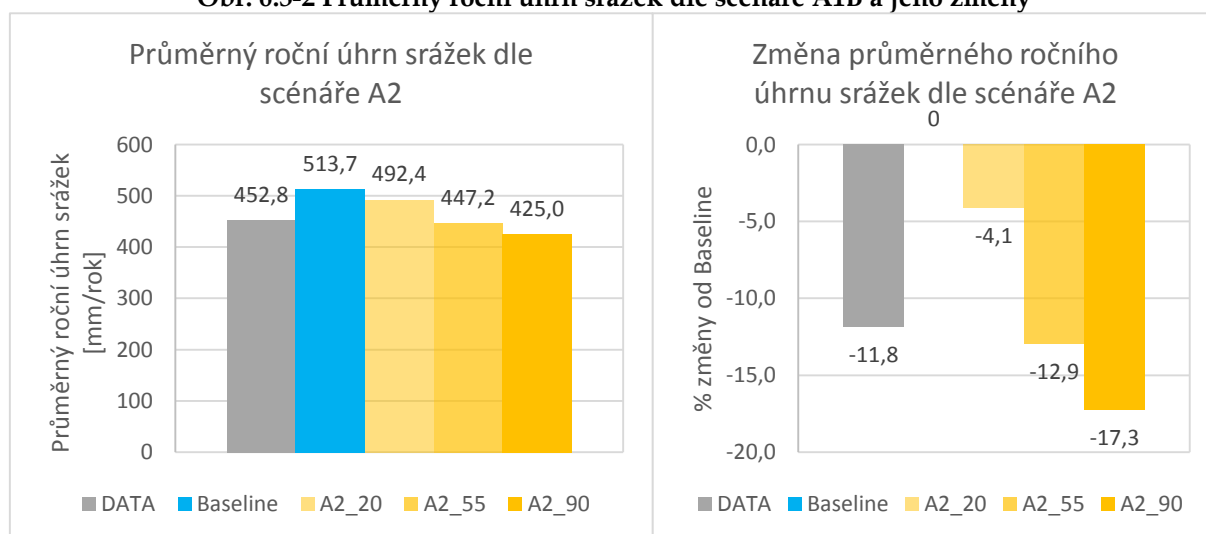
Všechny umělé řady mají délku 30 let. Jednotlivé měsíce mají stejný počet dní v každém roce.

### 6.3.2 ROČNÍ PRŮMĚRÝ ÚHRN SRÁŽEK A JEHO ZMĚNY

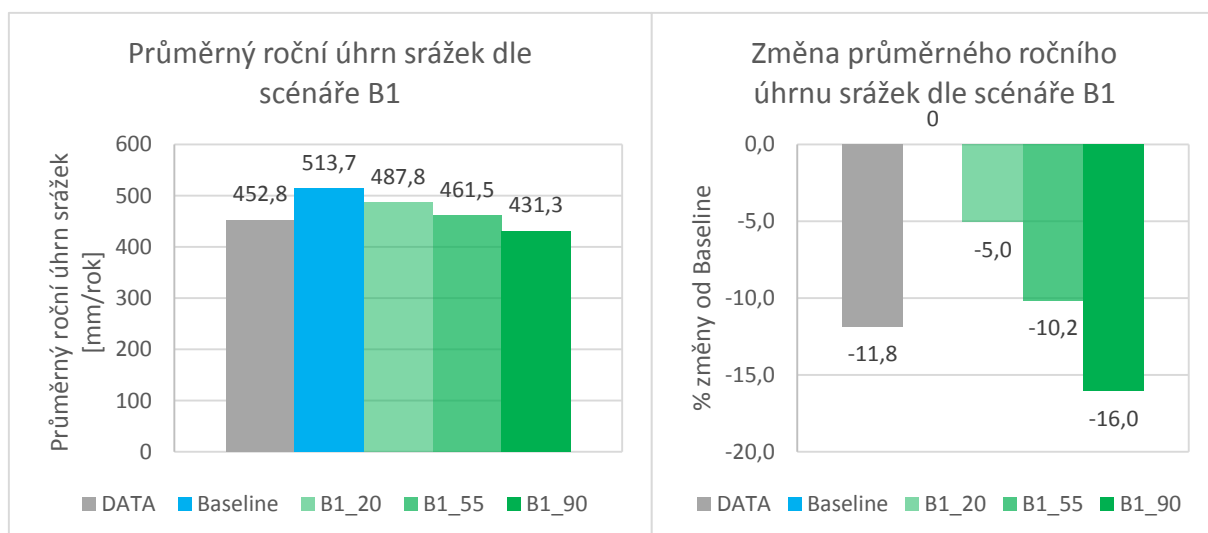
Pro každý rok (1 – 30) byl vypočítán podle rovnice (1) celkový úhrn srážek jako součet všech hodnot denního úhrnů srážek v konkrétním roce. Průměrný roční úhrn srážek je potom podle rovnice (2) průměr z celkových ročních úhrnů srážek z 30 let. V případě měřených dat (DATA) se postupovalo obdobně, výpočet byl přizpůsoben řadě s chybějícími denními hodnotami a průměrný roční úhrn byl vypočítán pouze z kompletních let. Grafy změny v průměrném ročním úhrnu srážek ukazují jeho procentuální změnu oproti Baseline.



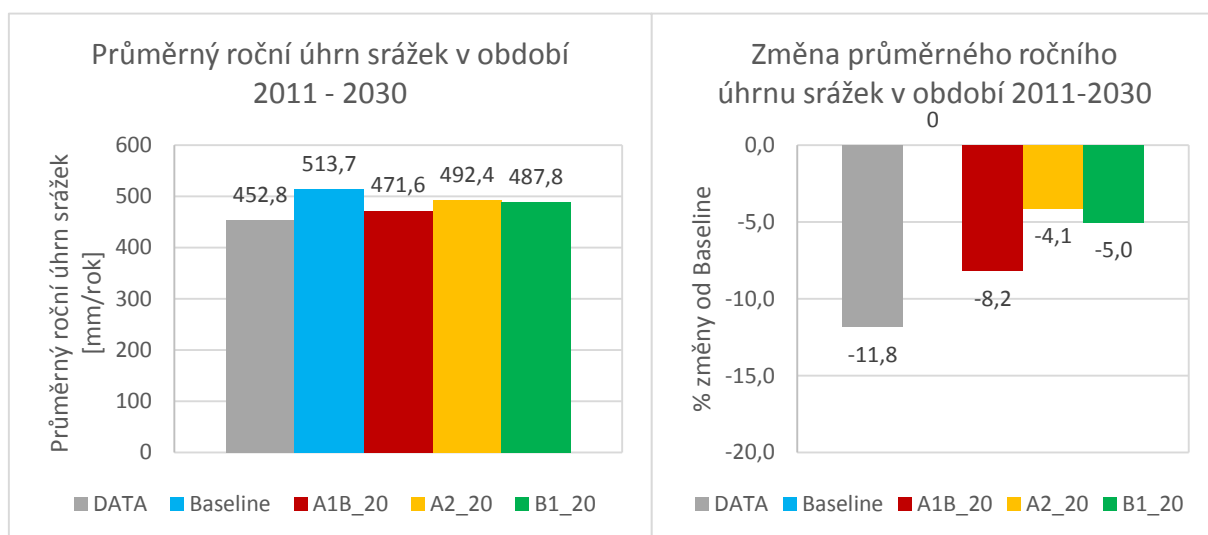
Obr. 6.3-2 Průměrný roční úhrn srážek dle scénáře A1B a jeho změny



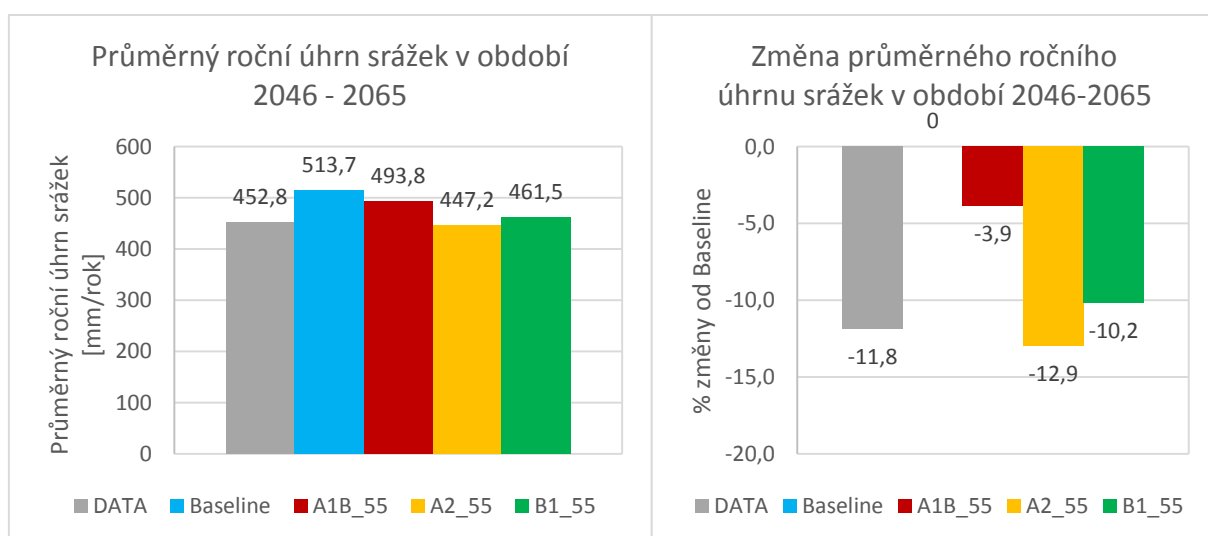
Obr. 6.3-3 Průměrný roční úhrn srážek dle scénáře A2 a jeho změny



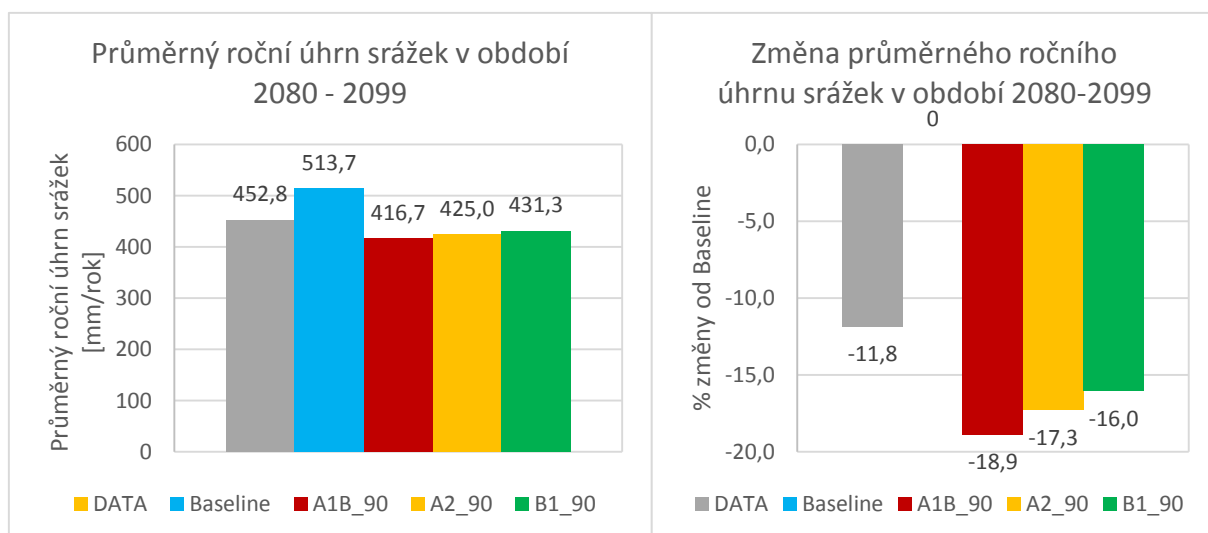
**Obr. 6.3-4 Průměrný roční úhrn srážek dle scénáře B1 a jeho změny**



**Obr. 6.3-5 Průměrný roční úhrn srážek v období 2011 - 2030 a jeho změny**



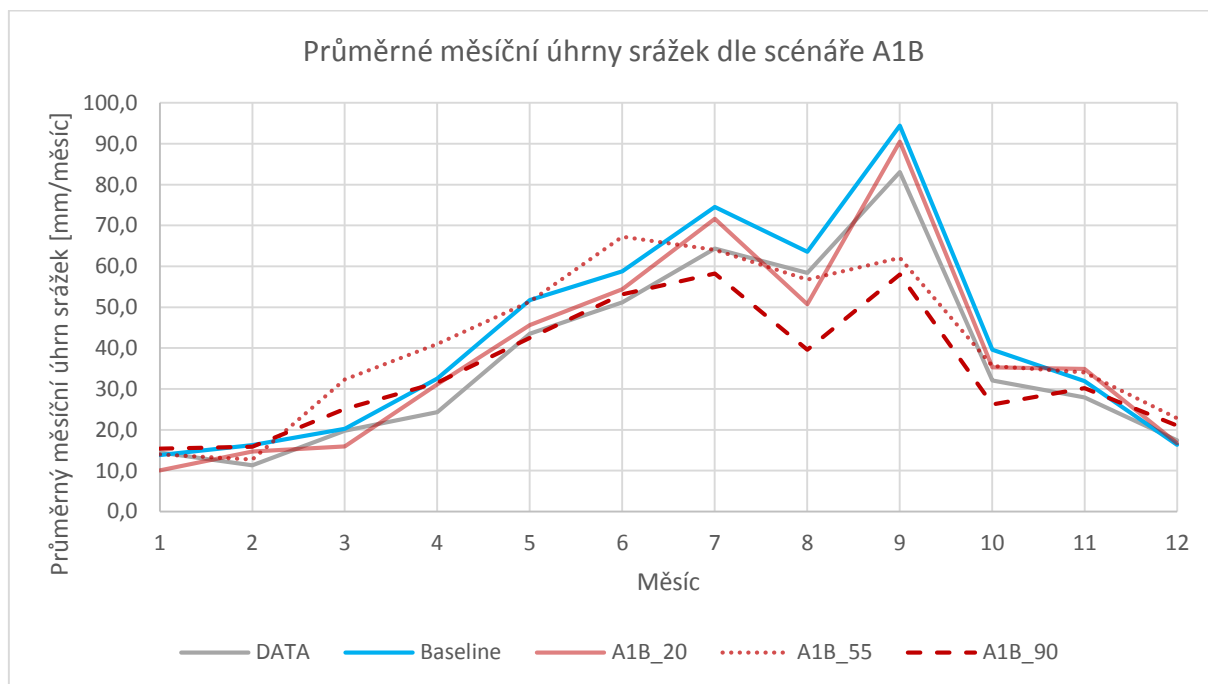
**Obr. 6.3-6 Průměrný roční úhrn srážek v období 2046 - 2065 a jeho změny**



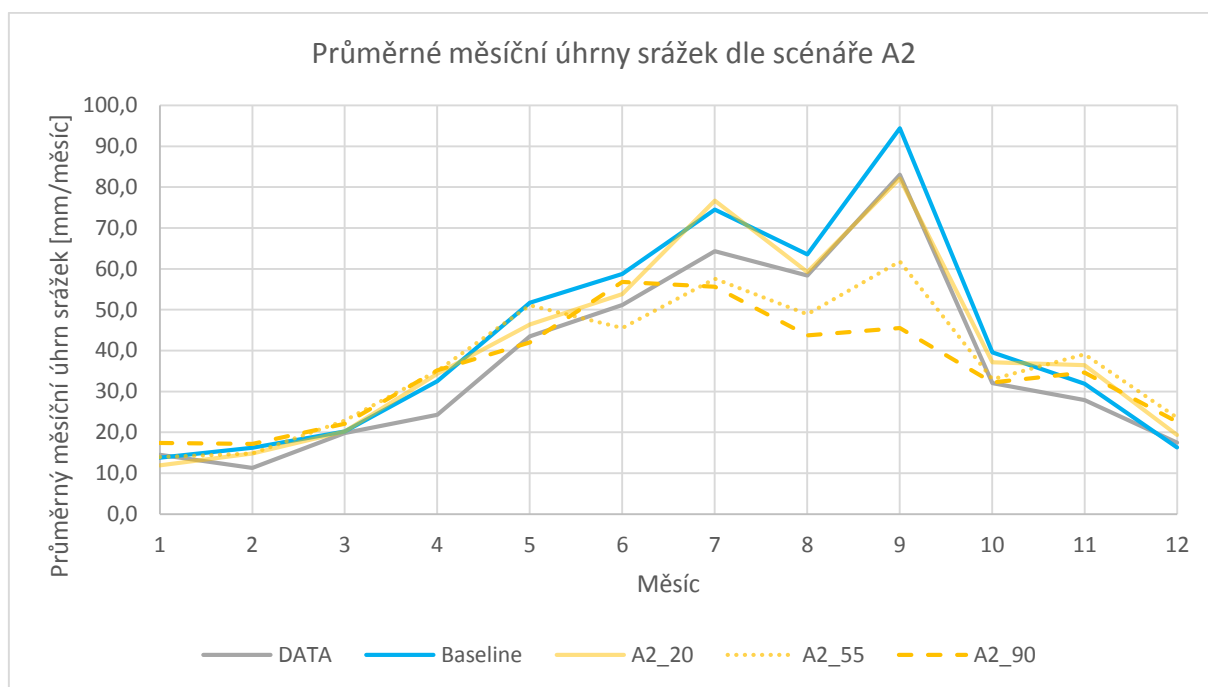
Obr. 6.3-7 Průměrný roční úhrn srážek v období 2080 - 2099 a jeho změny

### 6.3.3 MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÉ ÚHRNY SRÁŽEK

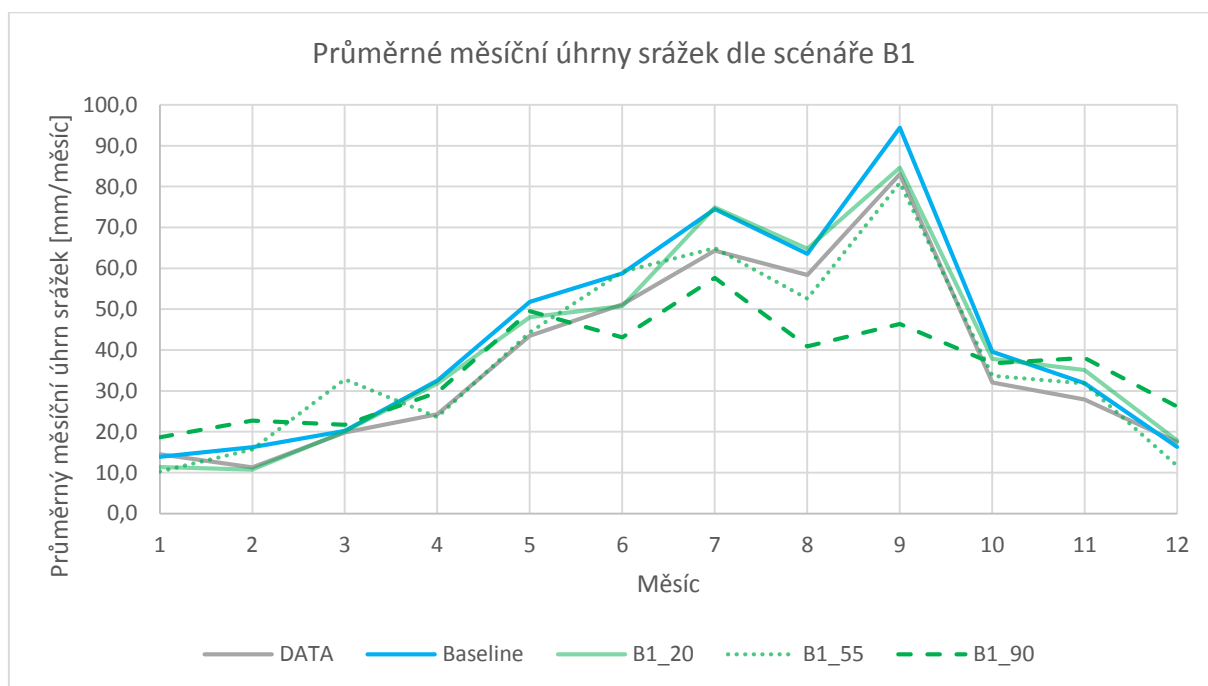
Pro každý měsíc (1 – 12) byl podle rovnic (3) a (4) vypočítán průměrný měsíční úhrn srážek. V případě měřených dat (DATA) byl při výpočtu brán zřetel na chybějící denní hodnoty. Celkový úhrn srážek za konkrétní měsíc byl vydělen počtem měřených dní. Následně byl vypočítán průměrný počet měřených dní v konkrétním měsíci, kterým byl výsledek vynásoben a získali jsme tak průměrný měsíční úhrn srážek v konkrétním měsíci. Na následujících grafech můžeme vidět měnící se průměrný měsíční úhrn srážek v průběhu roku.



Obr. 6.3-8 Průměrné měsíční úhrny srážek dle scénáře A1B

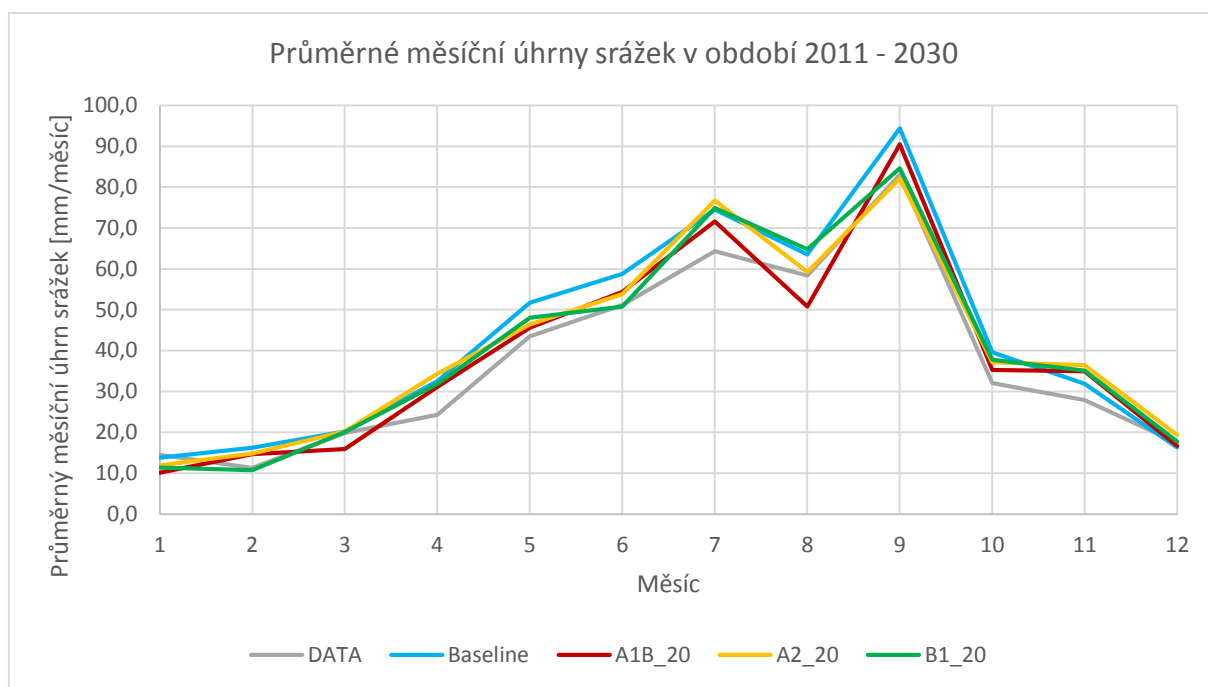


Obr. 6.3-9 Průměrné měsíční úhrny srážek dle scénáře A2

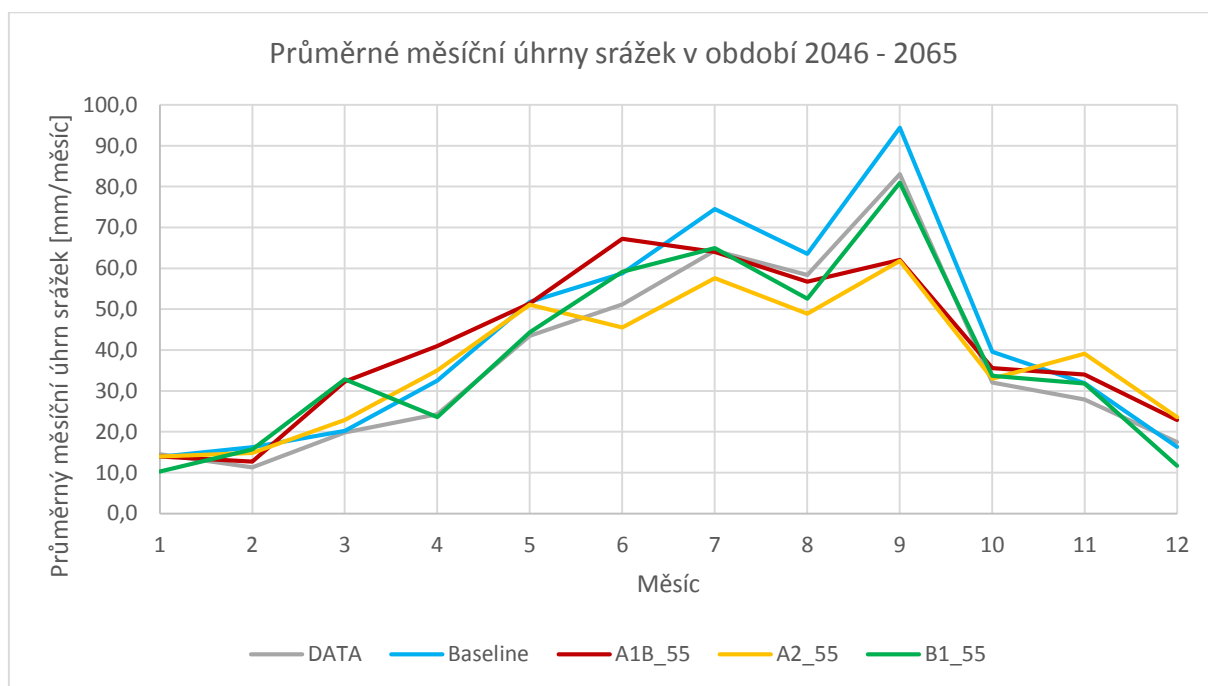


Obr. 6.3-10 Průměrné měsíční úhrny srážek dle scénáře B1

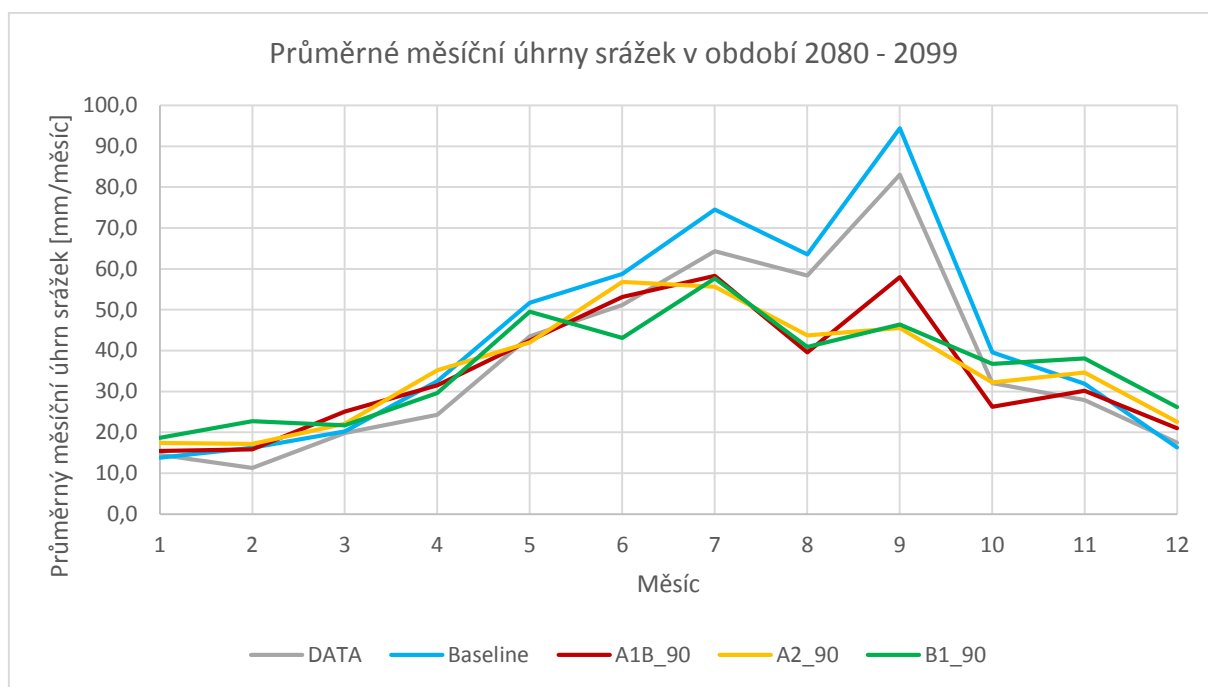




Obr. 6.3-11 Průměrné měsíční úhrny srážek v období 2011 - 2030



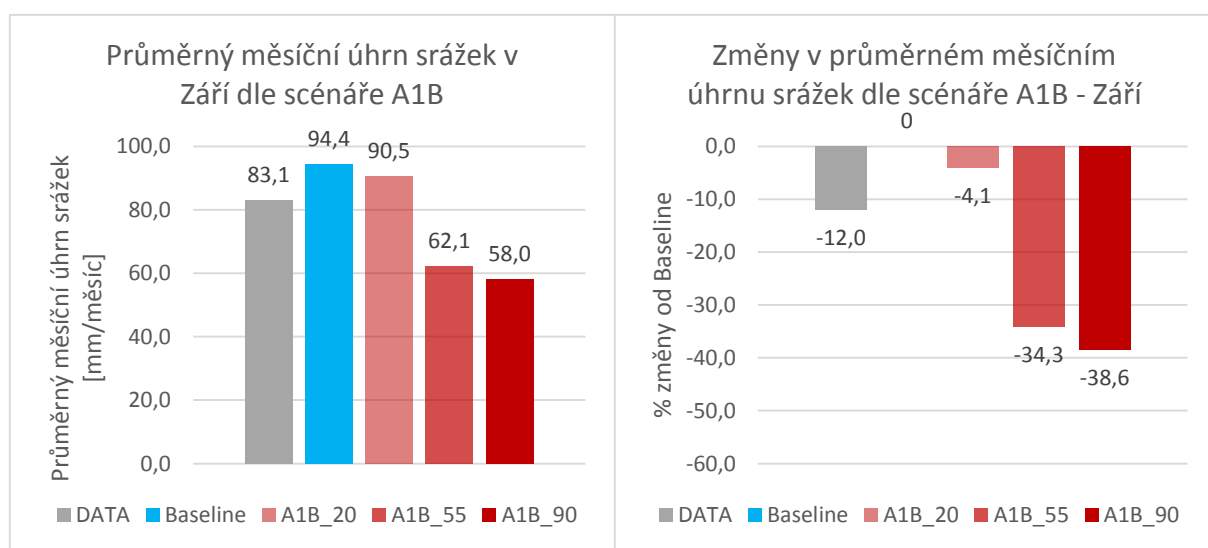
Obr. 6.3-12 Průměrné měsíční úhrny srážek v období 2046 - 2065



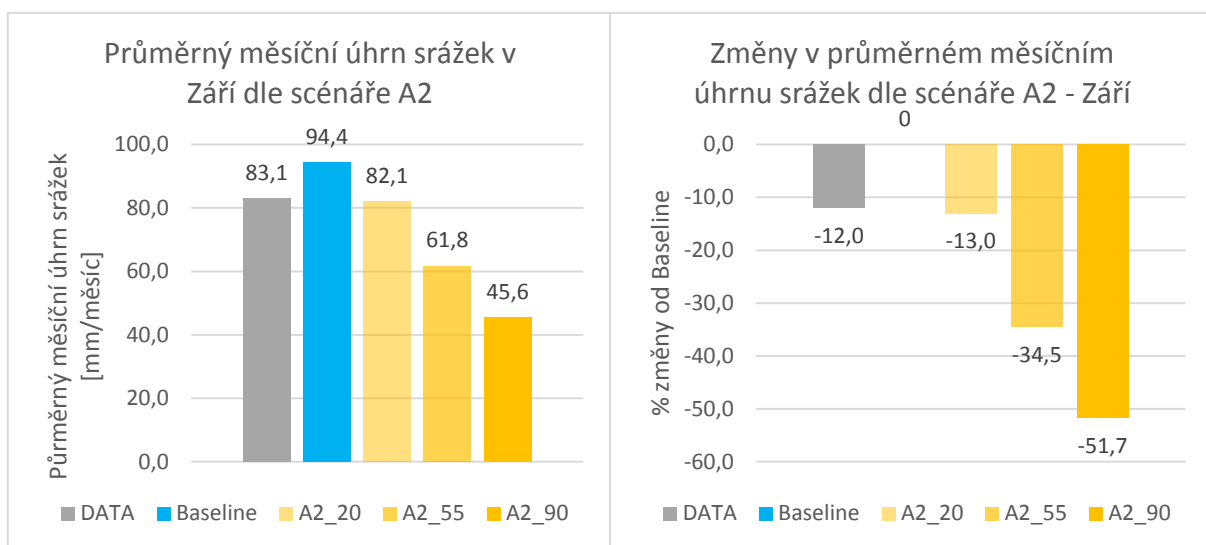
Obr. 6.3-13 Průměrné měsíční úhrny srážek v období 2080 - 2099

#### 6.3.4 MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÉ ÚHRNY SRÁŽEK PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE A JEJICH ZMĚNY

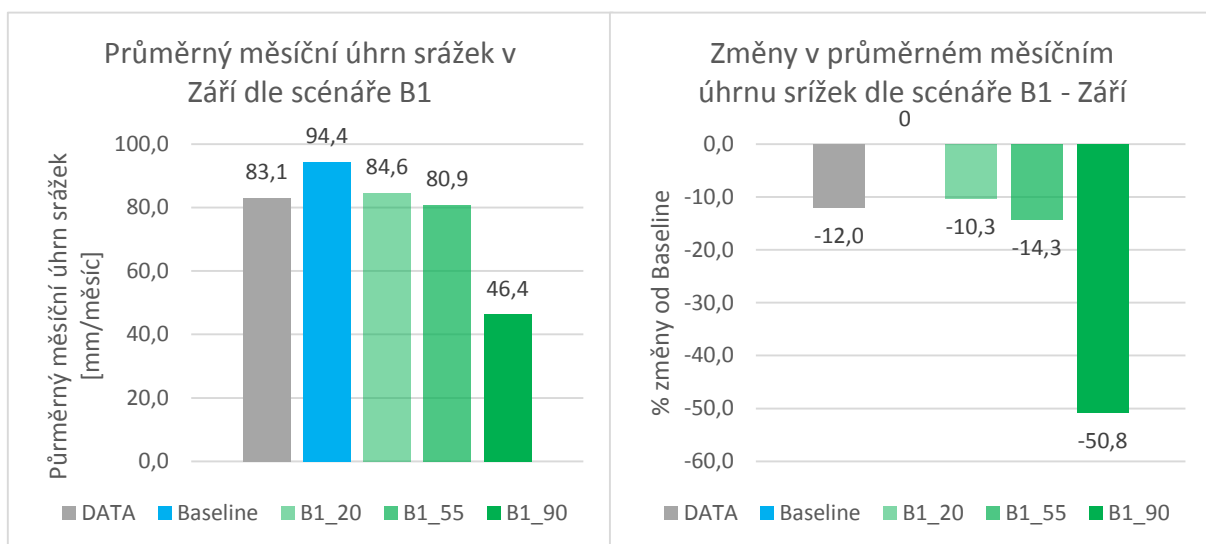
V tomto srovnání jsou použity stejné vypočtené hodnoty jako v kapitole 6.3.3. Hodnoty průměrného měsíčního úhrnu srážek jsou mezi sebou porovnány z hlediska scénáře a období v rámci konkrétního měsíce. Pro každý měsíc (1 Leden – 12 Prosinec) byla vypočítána procentuální změna v průměrném měsíčním úhrnu srážek oproti Baseline. V rámci této práce jsou prezentovány průměrné měsíční úhrny srážek z měsíce Září, výsledky ostatních měsíců jsou dostupné v elektronické příloze této práce.



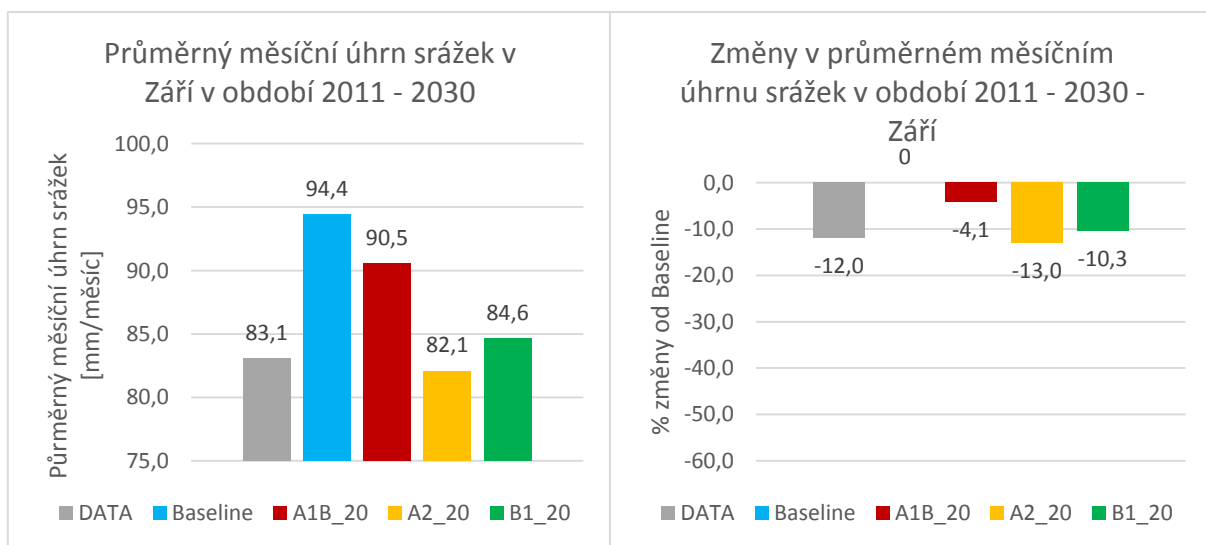
Obr. 6.3-14 Průměrný měsíční úhrn srážek v měsíci Září dle scénáře A1B a jeho změny



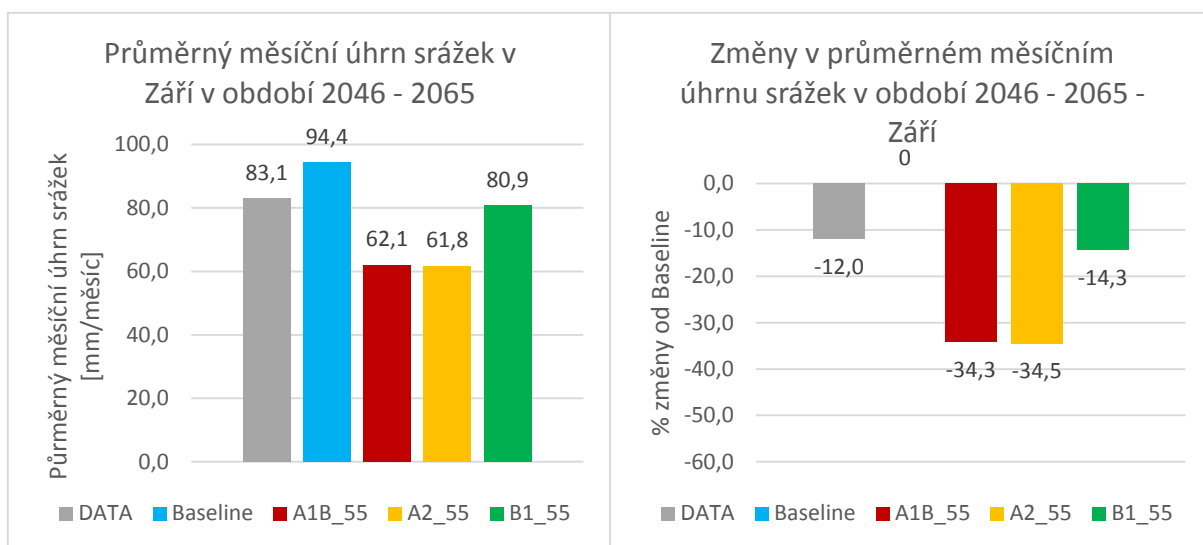
**Obr. 6.3-15 Průměrný měsíční úhrn srážek v měsíci Září dle scénáře A2 a jeho změny**



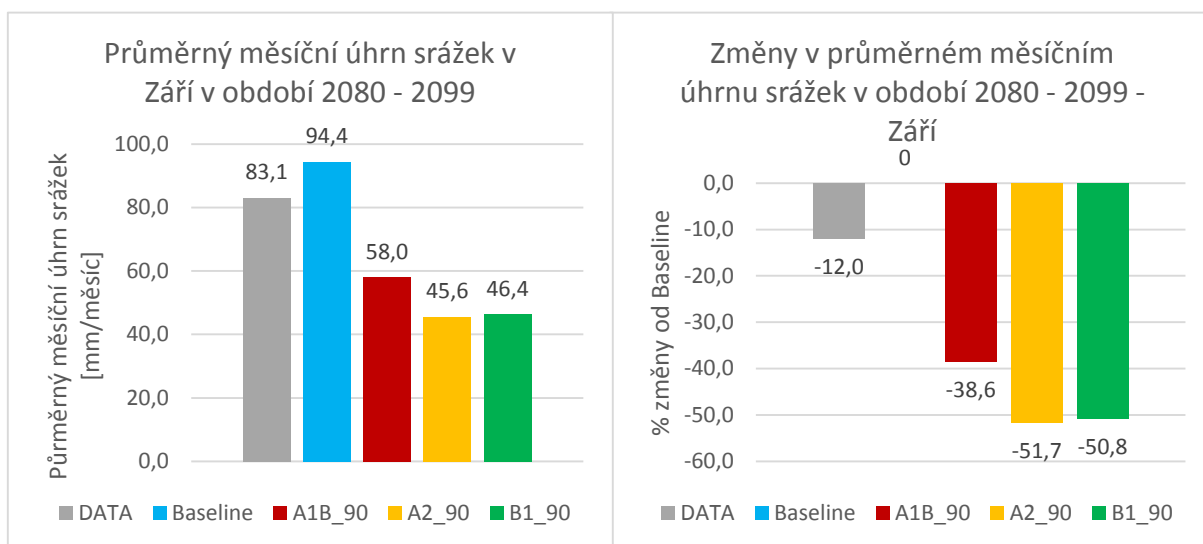
**Obr. 6.3-16 Průměrný měsíční úhrn srážek v měsíci Září dle scénáře B1 a jeho změny**



**Obr. 6.3-17 Průměrný měsíční úhrn srážek v měsíci Září v období 2011 - 2030 a jeho změny**



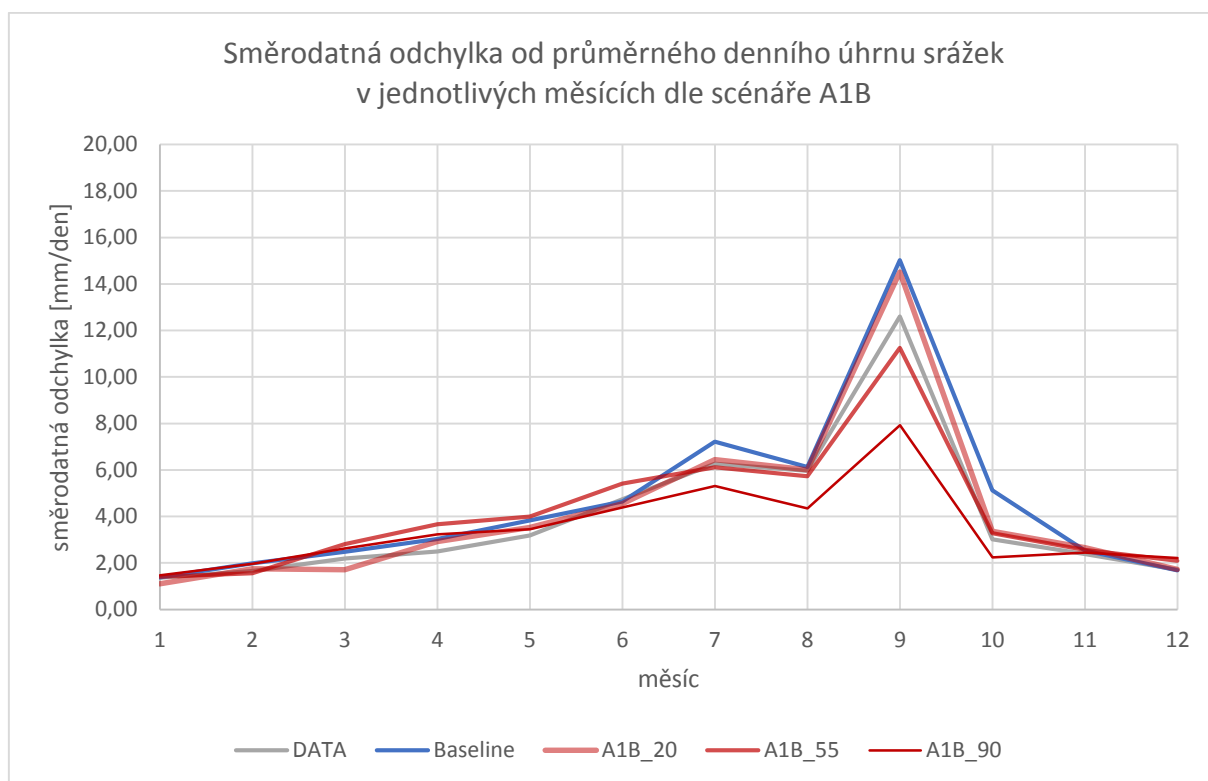
**Obr. 6.3-18 Průměrný měsíční úhrn srážek v měsíci Září v období 2046 - 2065 a jeho změny**



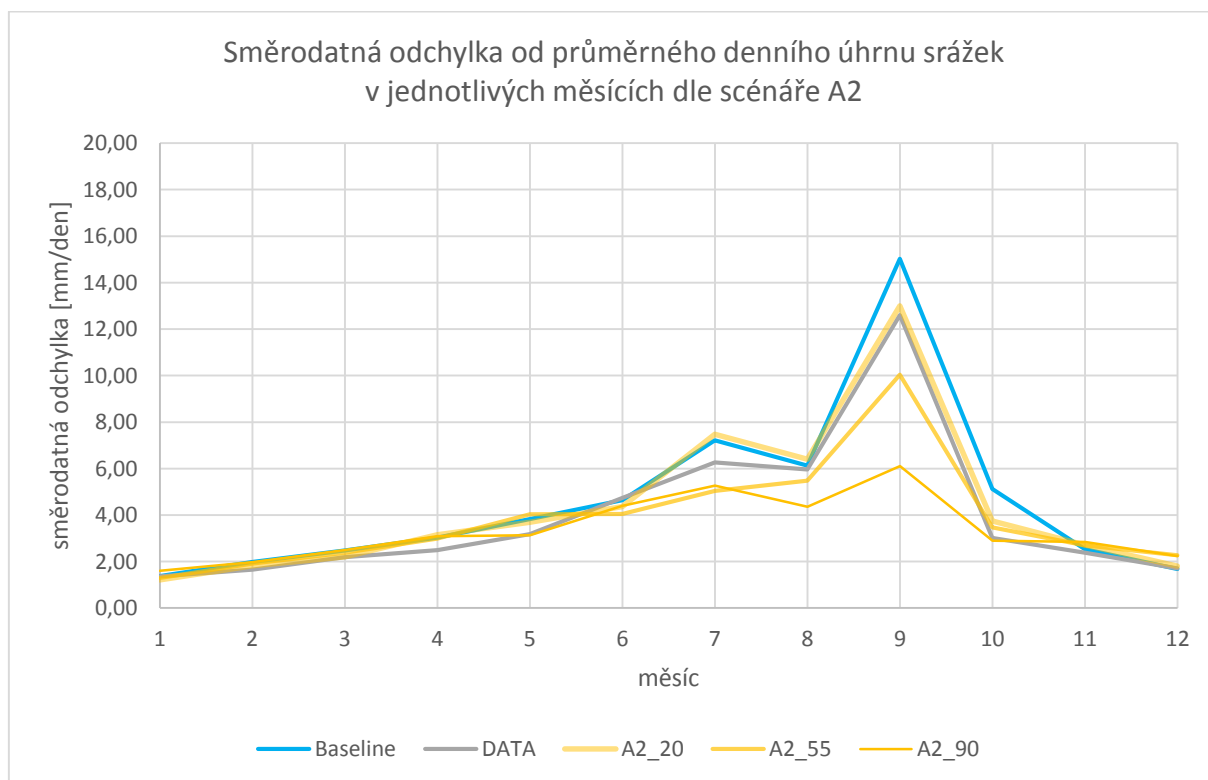
**Obr. 6.3-19 Průměrný měsíční úhrn srážek v měsíci Září v období 2080 - 2099 a jeho změny**

### 6.3.5 SMĚRODATNÁ ODCHYLKA PRŮMĚRNÉHO DENNÍHO ÚHRNU SRÁŽEK V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH

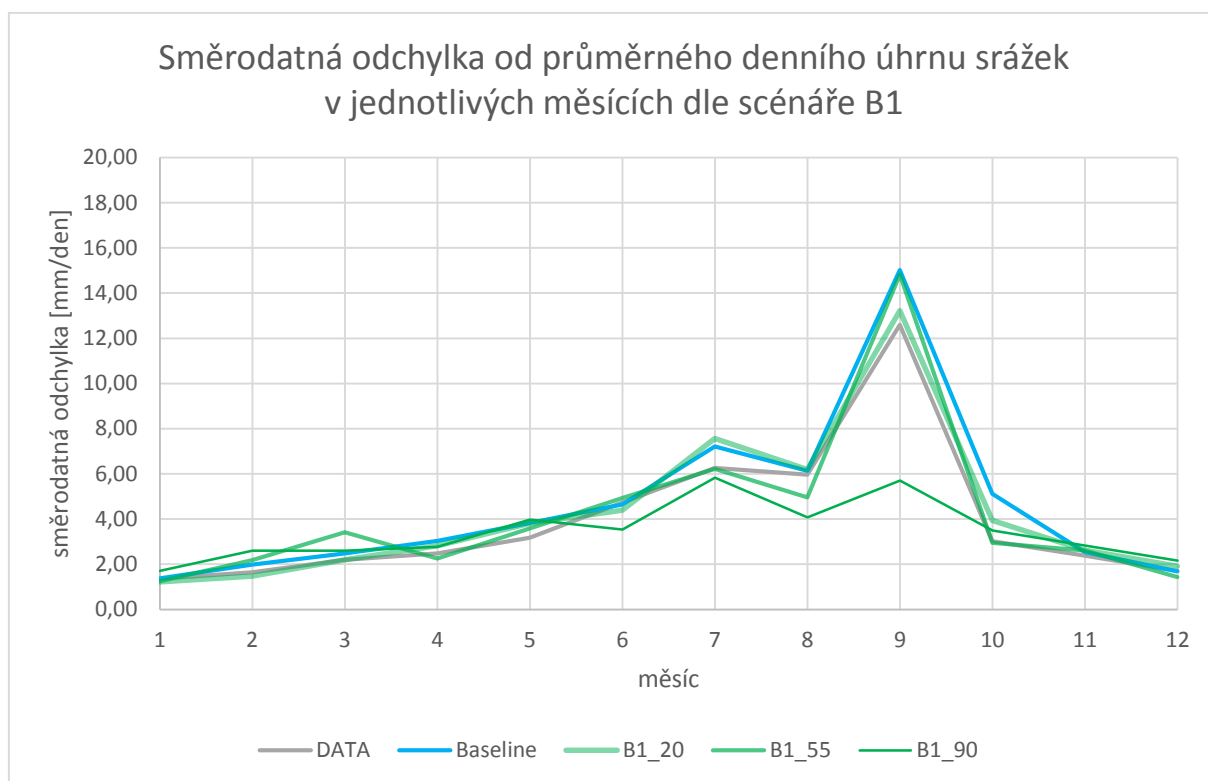
Pro každý měsíc (1 – 12) byla podle rovnic (5), (6) a (7) vypočítána směrodatná odchylka od průměrného denního úhrnu srážek v konkrétním měsíci. V měřených datech (DATA) byla opět do výpočtu zahrnuta možnost výskytu chybějících denních hodnot měření.



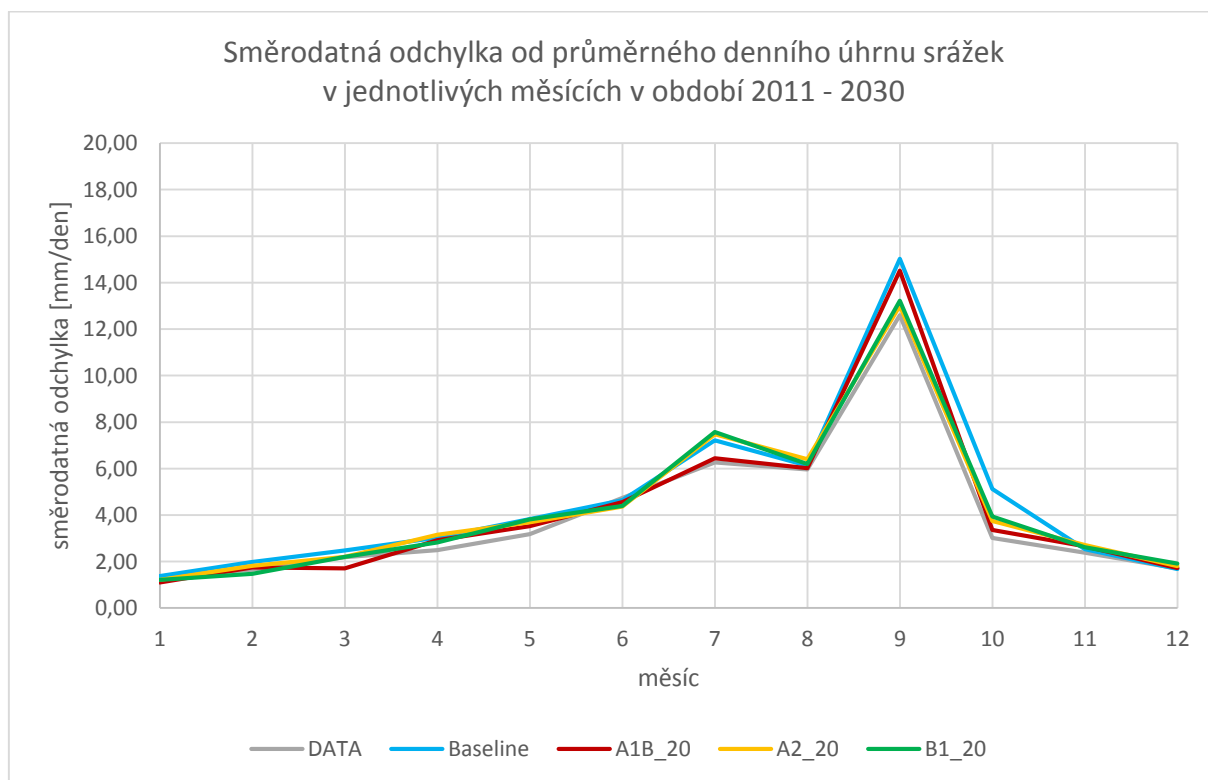
**Obr. 6.3-20 Směrodatná odchylka od průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících dle scénáře A1B**



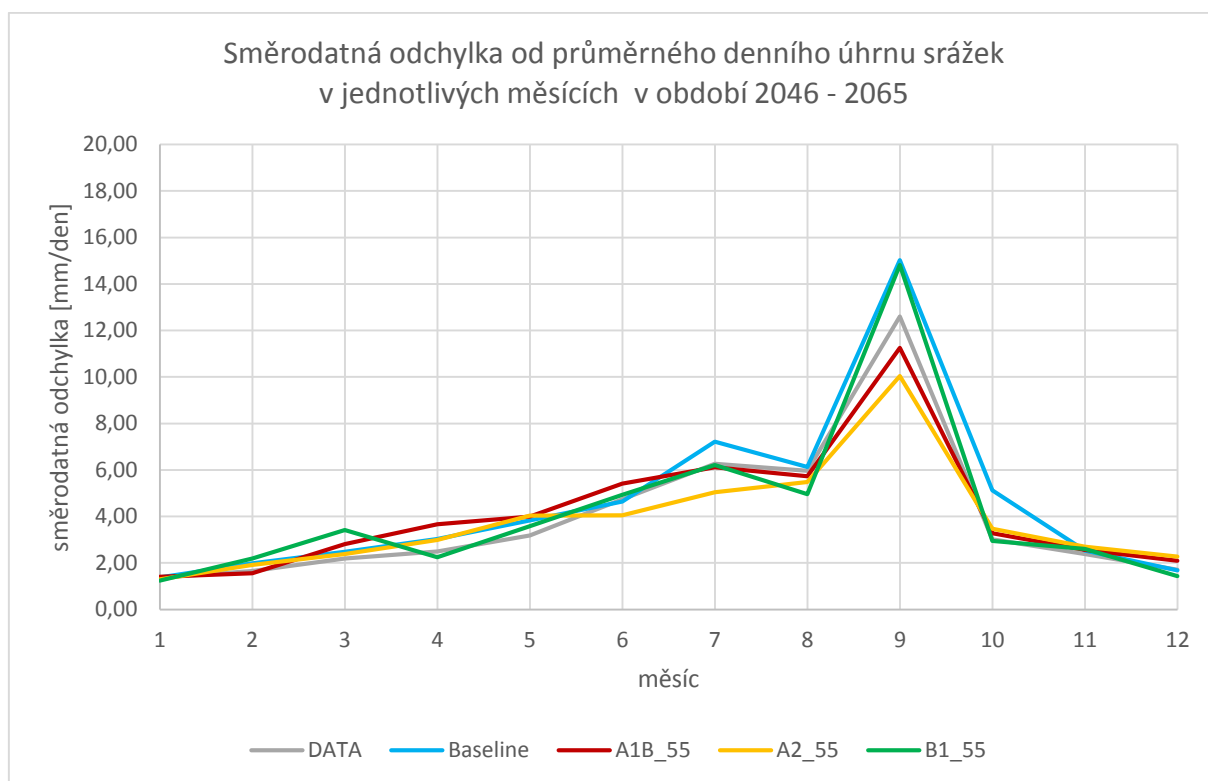
**Obr. 6.3-21 Směrodatná odchylka od průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících dle scénáře A2**



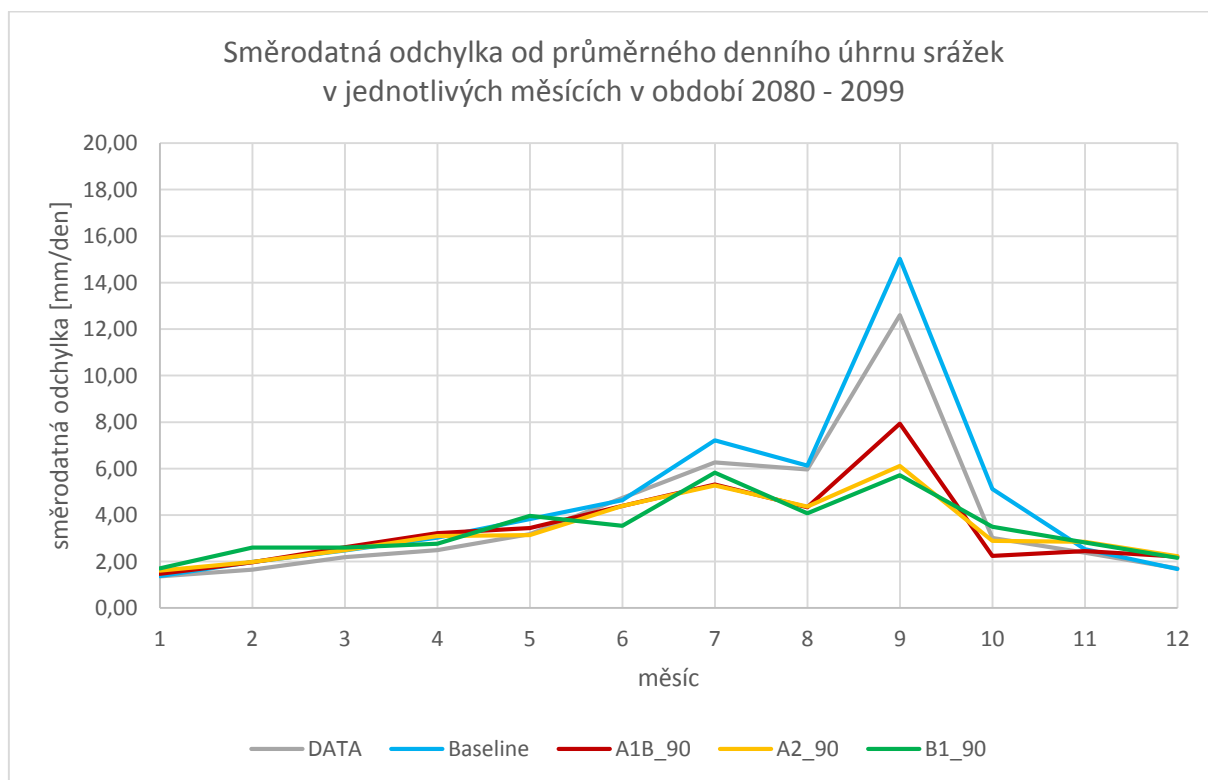
**Obr. 6.3-22 Směrodatná odchylka od průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících dle scénáře B1**



**Obr. 6.3-23 Směrodatná odchylka od průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících v období 2011 - 2030**



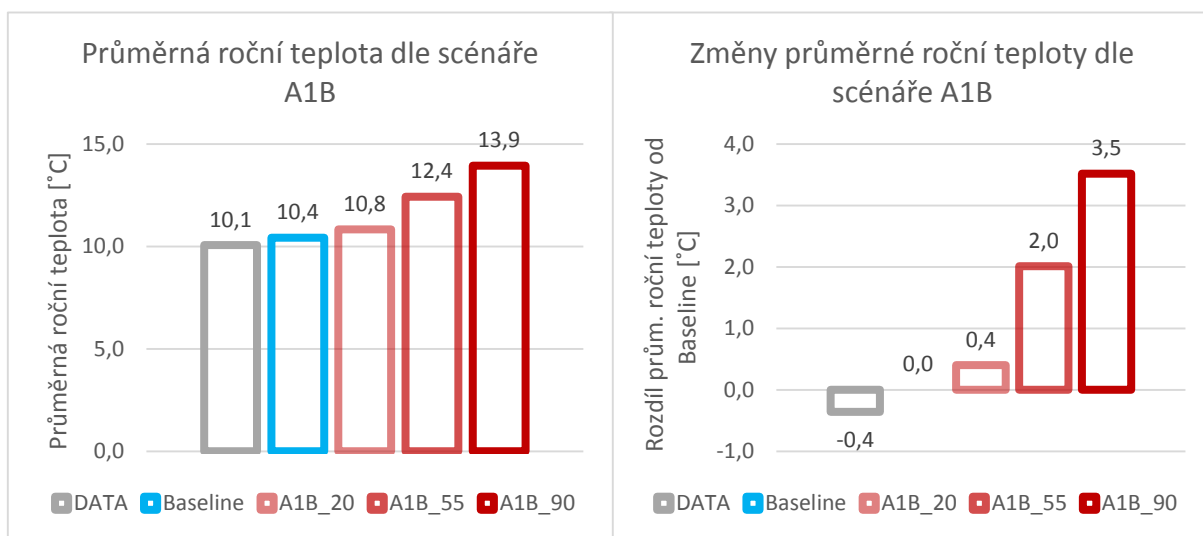
**Obr. 6.3-24 Směrodatná odchylka od průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících v období 2046 - 2065**



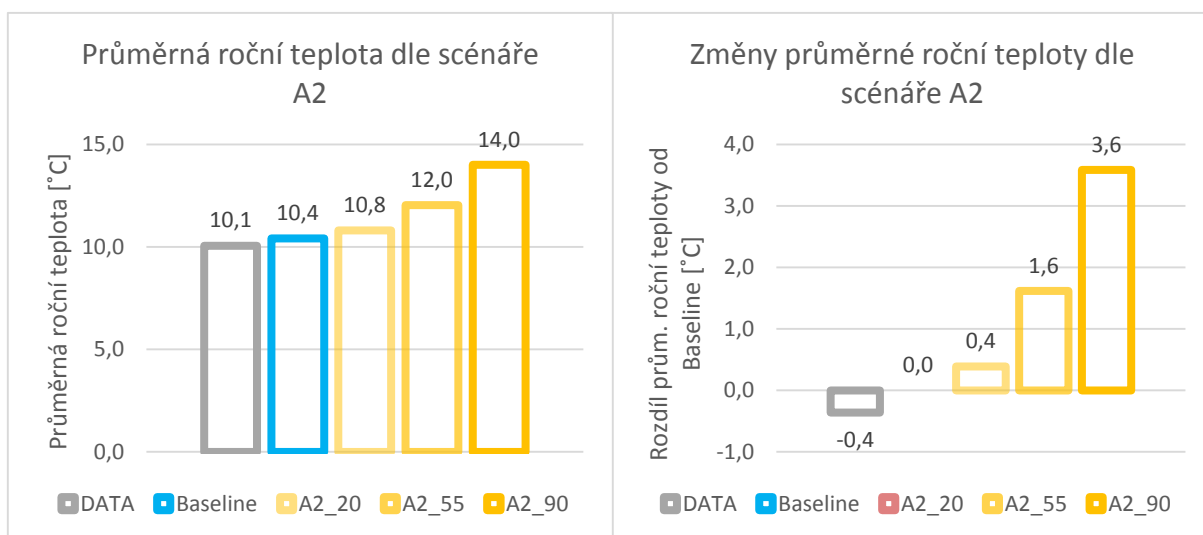
**Obr. 6.3-25 Směrodatná odchylka od průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících v období 2080 - 2099**

### 6.3.6 ROČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA

Průměrná denní teplota byla vypočítána jako průměr maximální a minimální teploty v konkrétním dni. Pro každý rok (1 – 30) byla podle rovnice (8) vypočítána průměrná roční teplota jako součet průměrných denních teplot v konkrétním roce dělený počtem dní (365). Celková průměrná roční teplota je potom podle rovnice (9) průměr z průměrných ročních teplot z 30 let. V případě měřených dat (DATA) byl výpočet obdobný, jen byl brán ohled na výskyt chybějících denních hodnot a průměrná roční teplota byla počítána pouze z kompletních let. Byl brán v úvahu skutečný počet dní v roce, ze kterých máme správně naměřené hodnoty denních teplot. Grafy změn v průměrné roční teplotě ukazují její rozdíl v °C oproti Baseline.

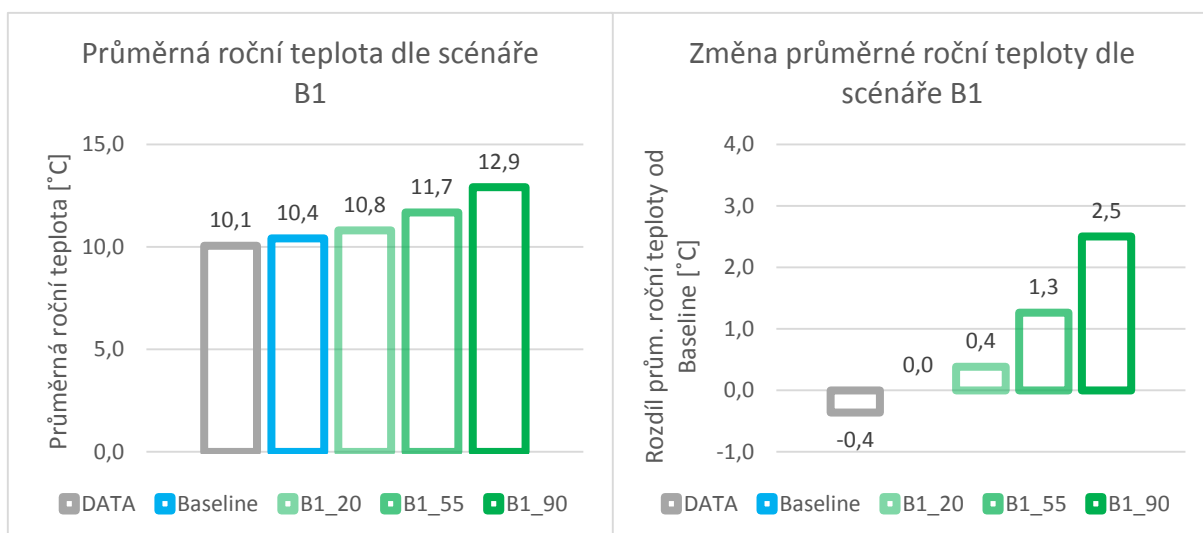


Obr. 6.3-26 Průměrná roční teplota dle scénáře A1B a její změny

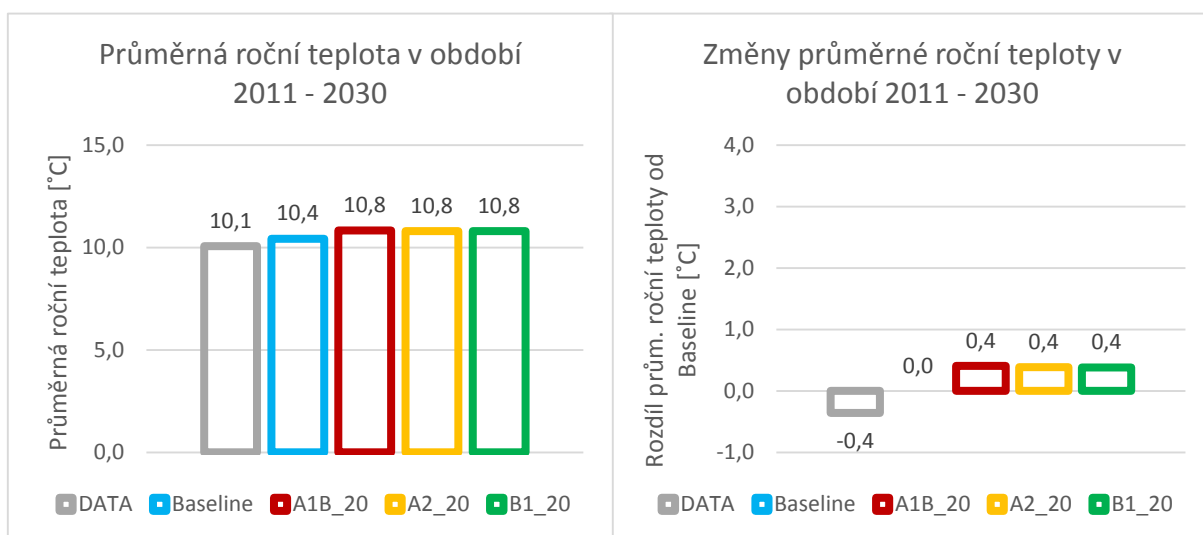


Obr. 6.3-27 Průměrná roční teplota dle scénáře A2 a její změny

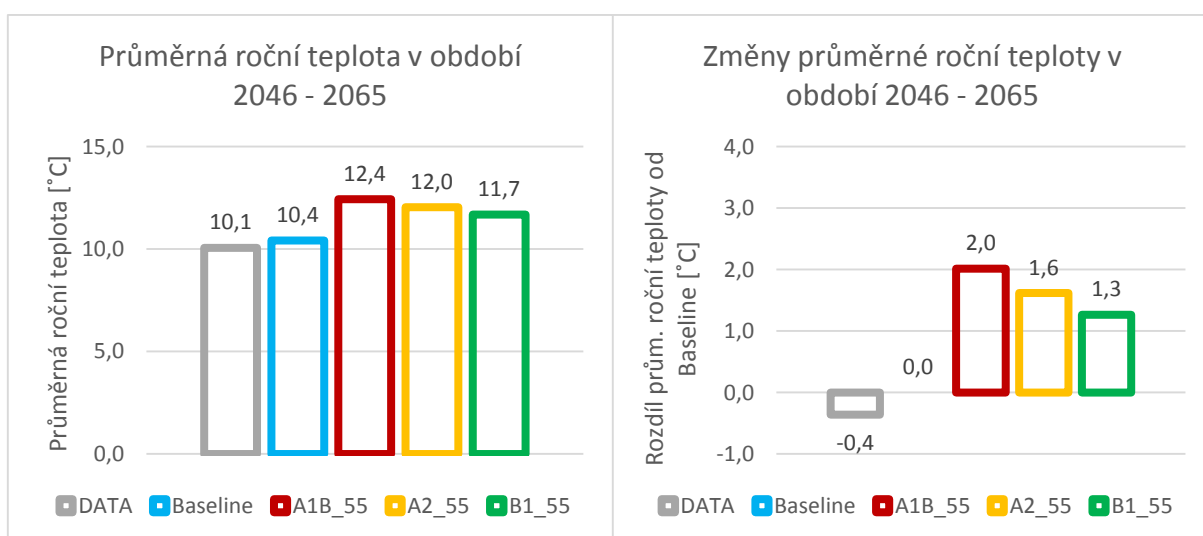




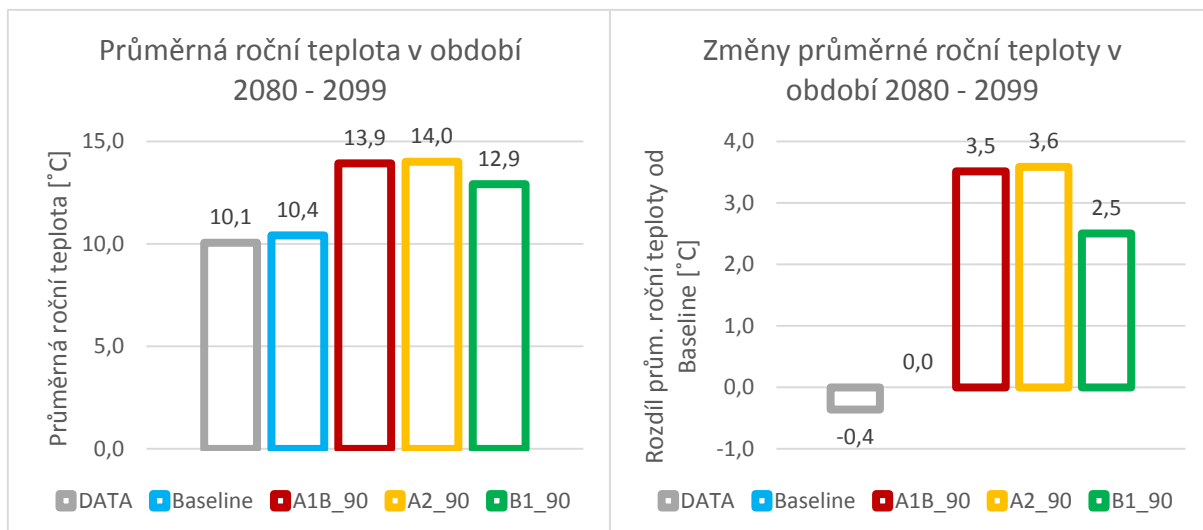
Obr. 6.3-28 Průměrná roční teplota dle scénáře B1 a její změny



Obr. 6.3-29 Průměrná roční teplota v období 2011 - 2030 a její změny



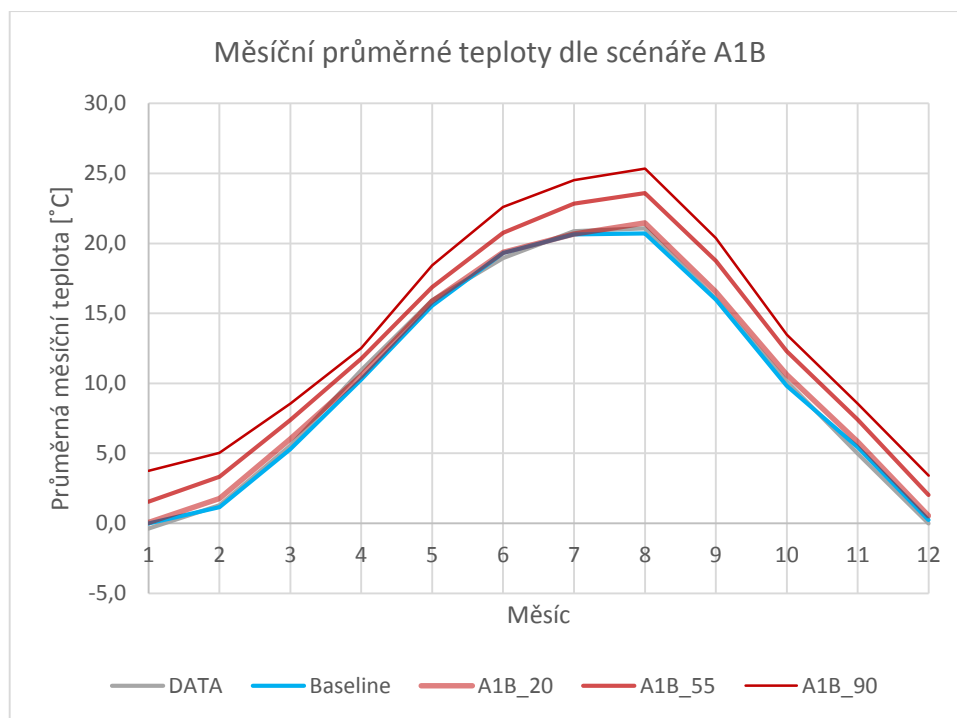
Obr. 6.3-30 Průměrná roční teplota v období 2045 - 2065 a její změny



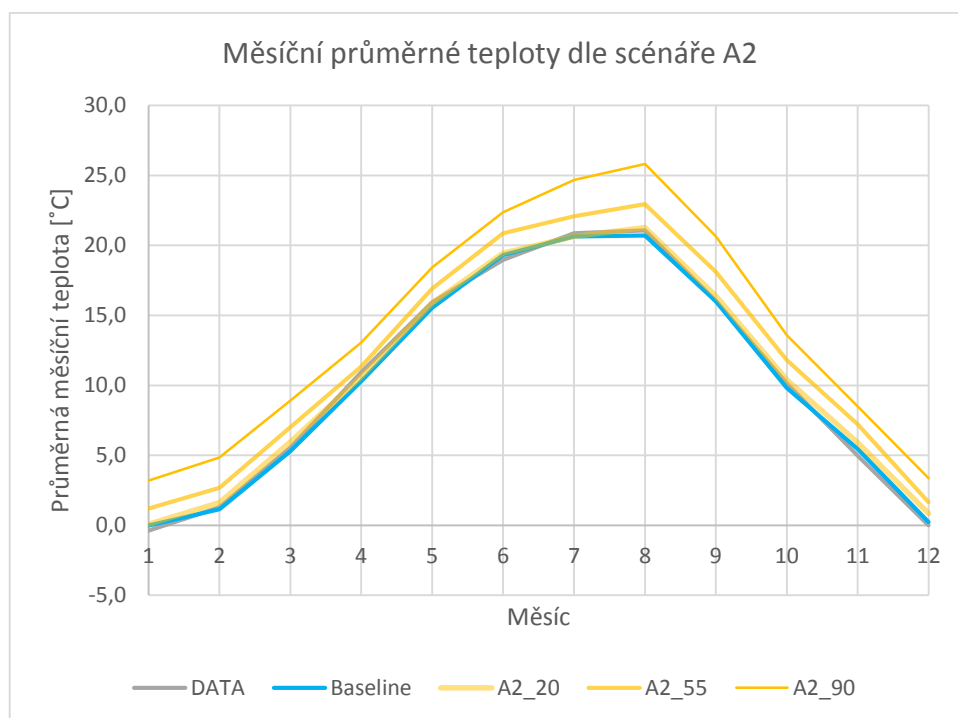
Obr. 6.3-31 Průměrná roční teplota v období 2080 - 2099 a její změny

### 6.3.7 MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA

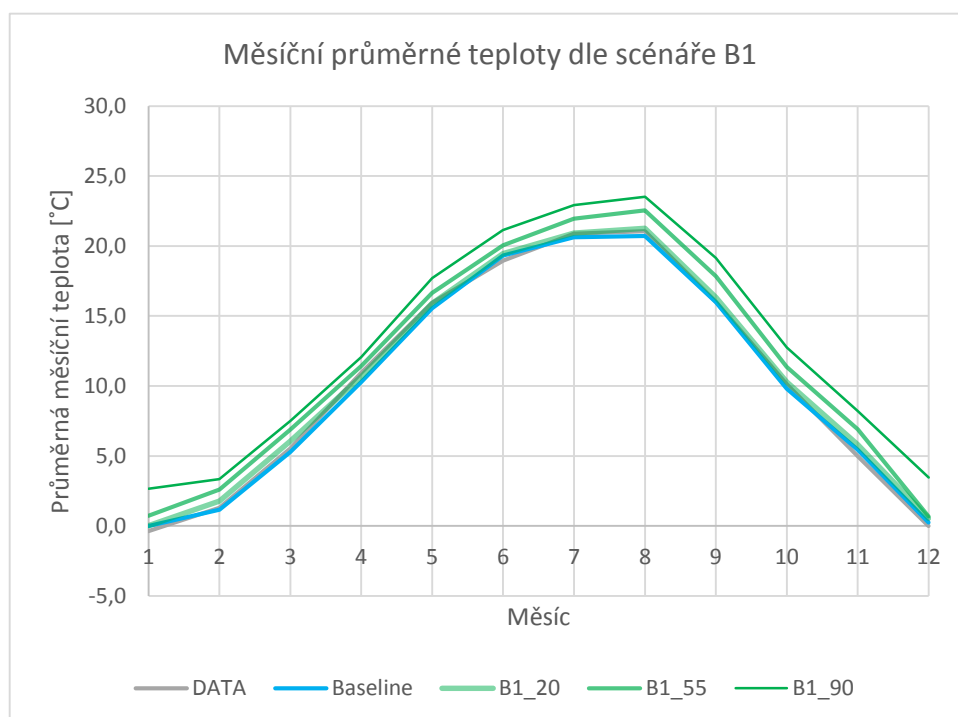
Pro každý měsíc (1 - 12) byla podle rovnic (10) a (11) vypočítána průměrná měsíční teplota jako součet hodnot průměrné denní teploty za 30 let v konkrétním měsíci děleno celkovým počtem dní (30 x počet dní v konkrétním měsíci). V případě měřených dat (DATA) byla brána v úvahu chybějící data a bylo počítáno se skutečným počtem dní, ze kterých máme správně naměřené hodnoty teplot.



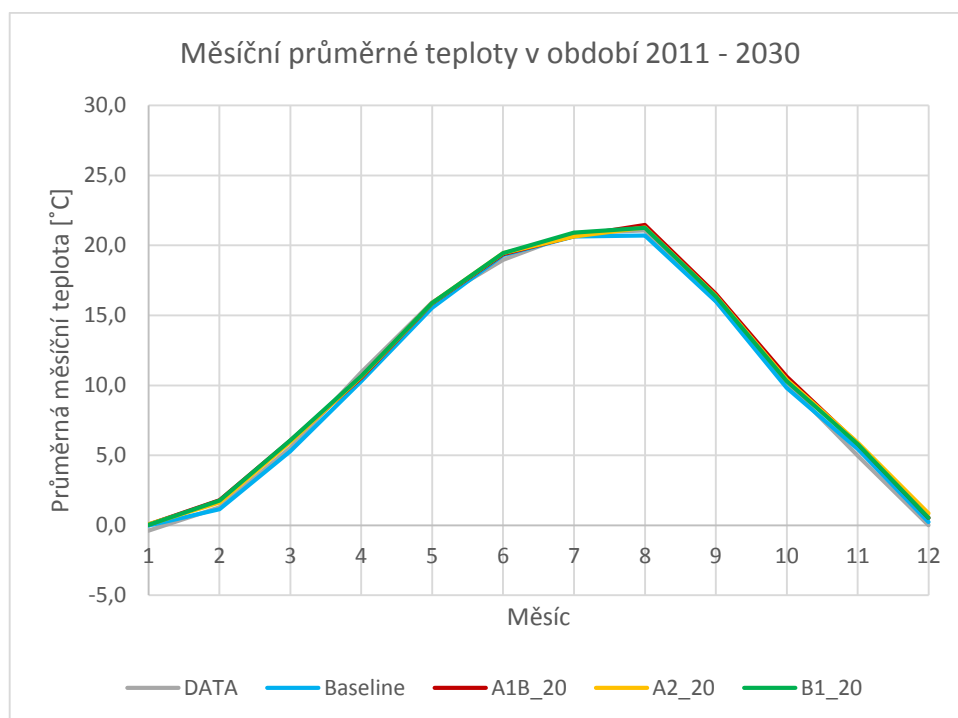
Obr. 6.3-32 Měsíční průměrné teploty dle scénáře A1B



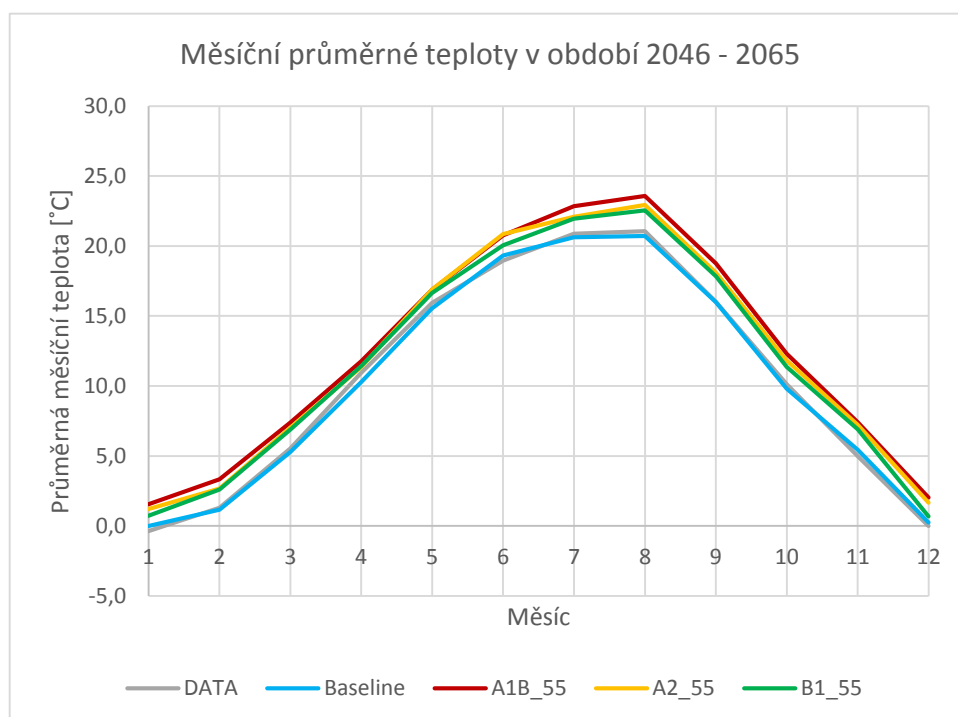
**Obr. 6.3-33 Měsíční průměrné teploty dle scénáře A2**



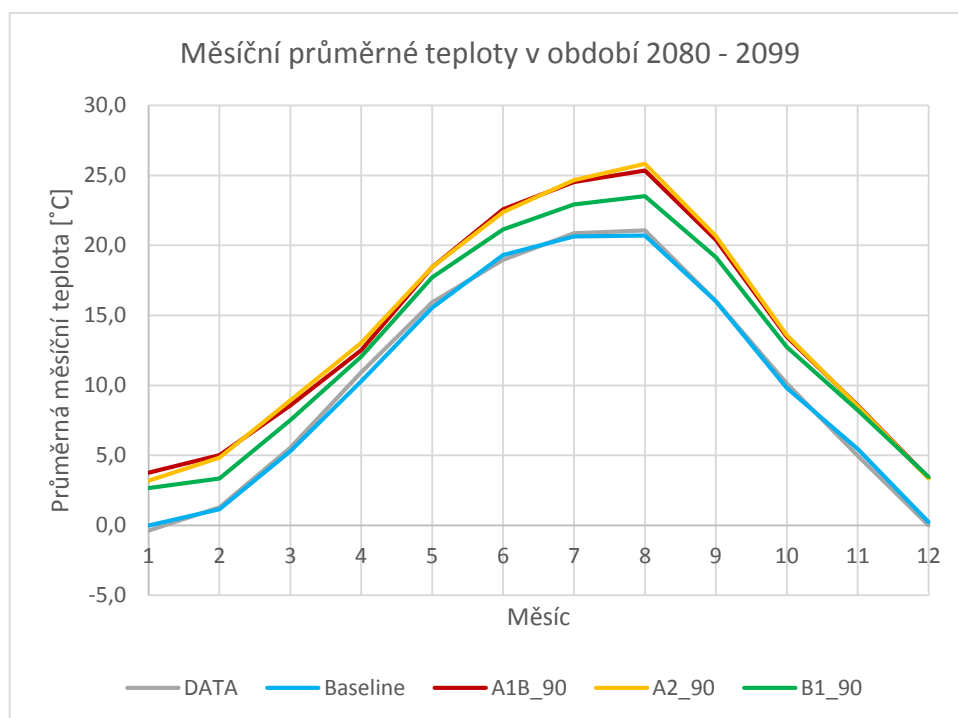
**Obr. 6.3-34 Měsíční průměrné teploty dle scénáře B1**



**Obr. 6.3-35 Měsíční průměrné teploty v období 2011 - 2030**



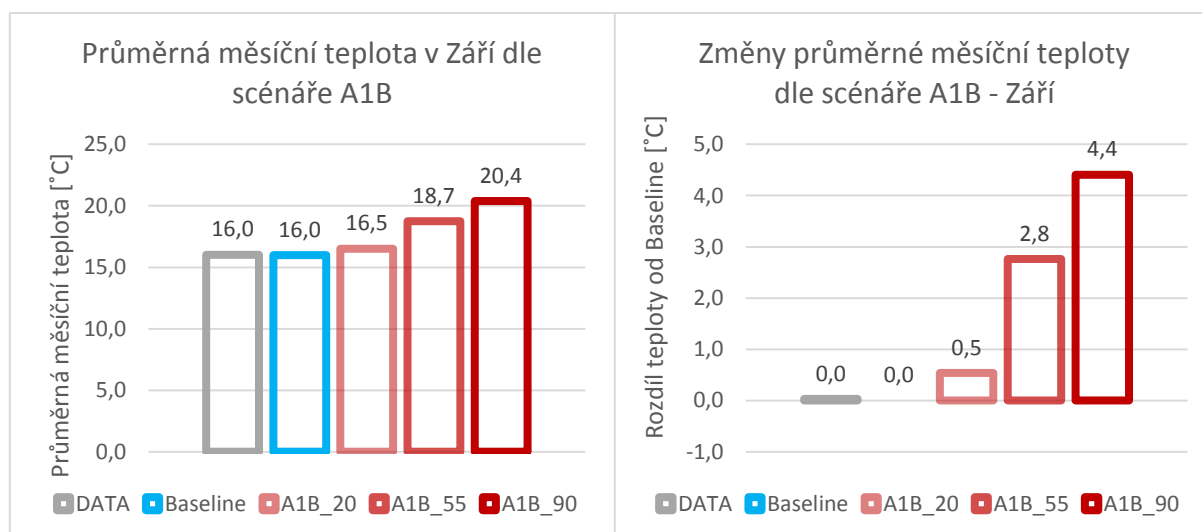
**Obr. 6.3-36 Měsíční průměrné teploty v období 2046 - 2065**



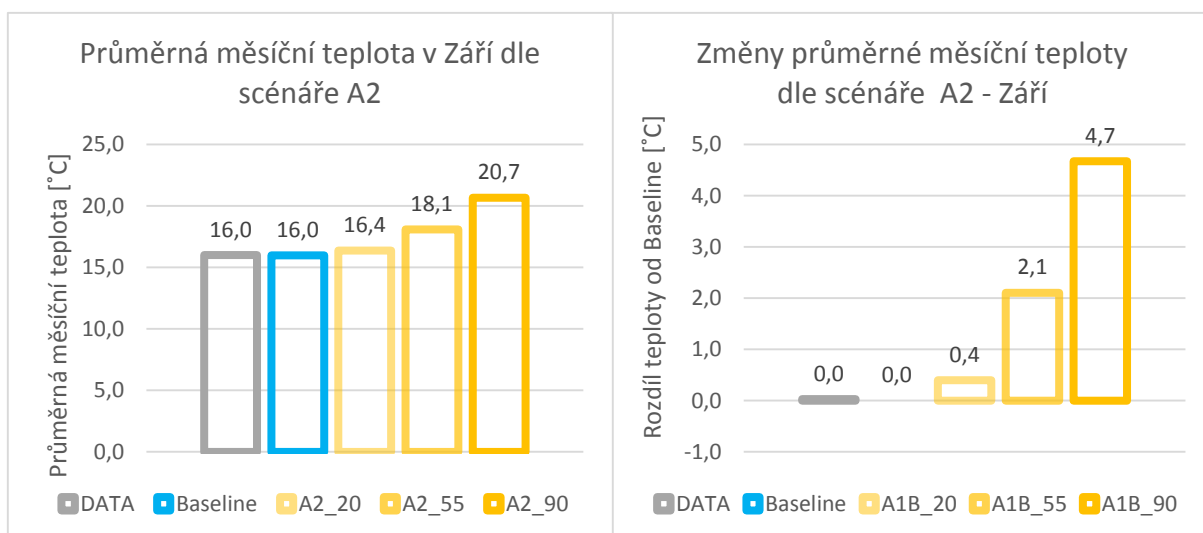
Obr. 6.3-37 Měsíční průměrné teploty v období 2080 – 2099

### 6.3.8 MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA PRO JEDNOTLIVÉ MĚSÍCE

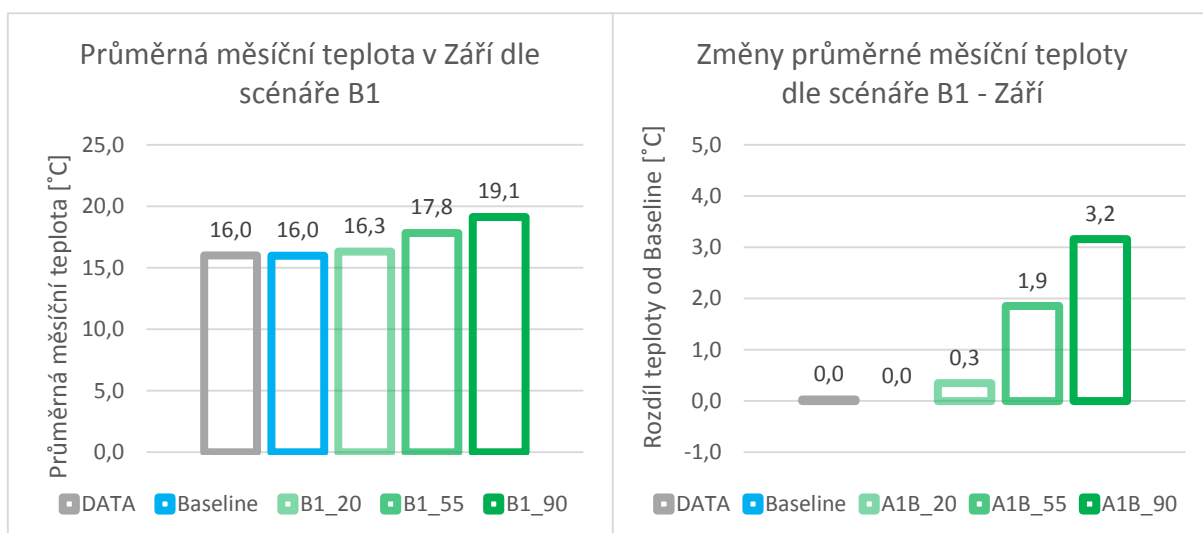
V tomto srovnání jsou použity stejné vypočtené hodnoty jako v kapitole 6.3.7. Hodnoty průměrné měsíční teploty jsou mezi sebou porovnány z hlediska scénáře a období v rámci konkrétního měsíce. Pro každý měsíc (1 Leden – 12 Prosinec) byl vypočítán rozdíl v průměrné měsíční teplotě oproti Baseline. V rámci této práce jsou prezentovány průměrné měsíční teploty z měsíce Září, výsledky ostatních měsíců jsou dostupné v elektronické příloze této práce.



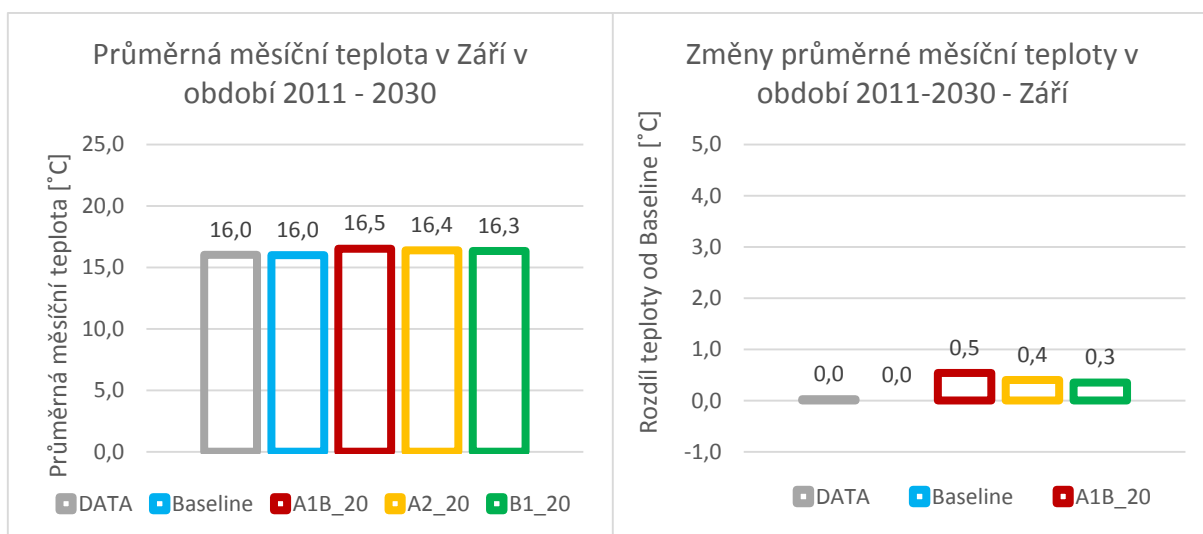
Obr. 6.3-38 Průměrná měsíční teplota v měsíci Září dle scénáře A1B a její změny



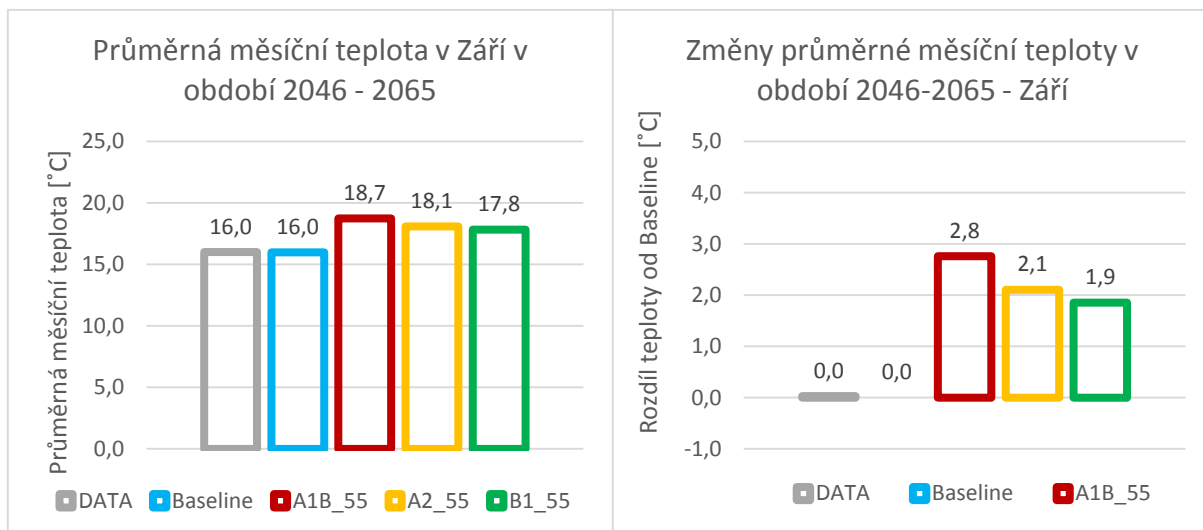
Obr. 6.3-39 Průměrná měsíční teplota v měsíci Září dle scénáře A2 a její změny



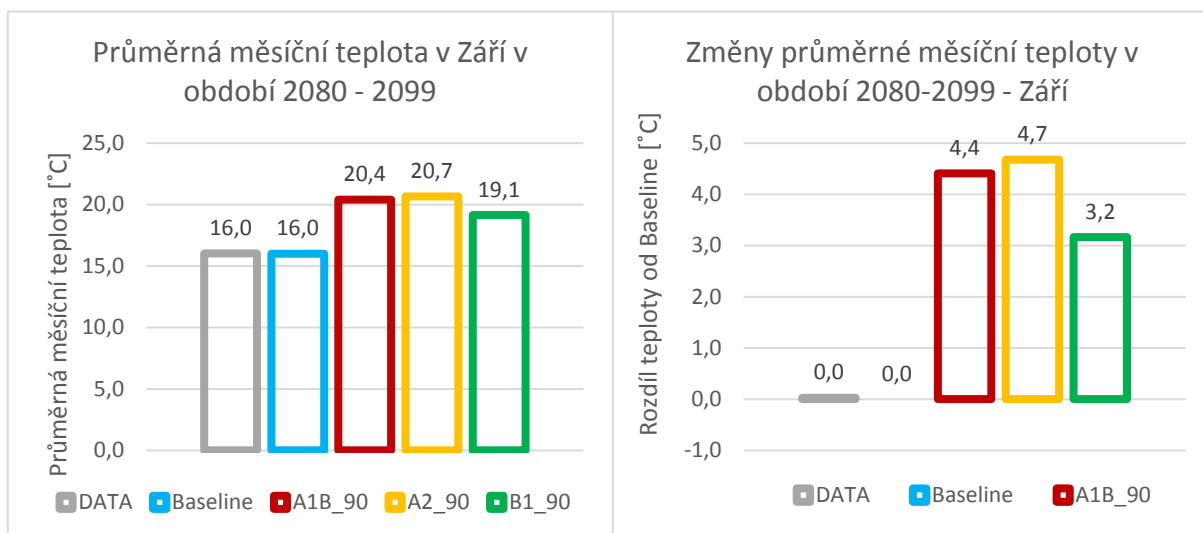
Obr. 6.3-40 Průměrná měsíční teplota v měsíci Září dle scénáře B1 a její změny



Obr. 6.3-41 Průměrná měsíční teplota v měsíci Září v období 2011 - 2030 a její změny



**Obr. 6.3-42 Průměrná měsíční teplota v měsíci Září v období 2046 - 2065 a její změny**



**Obr. 6.3-43 Průměrná měsíční teplota v měsíci Září v období 2080 - 2099 a její změny**

## 7 SHRNUÍ VÝSLEDKŮ

### 7.1 ROČNÍ PRŮMĚRNÝ ÚHRN SRÁŽEK A JEHO ZMĚNY

Podle všech tří scénářů byl zaznamenán budoucí pokles ročního průměrného úhrnu srážek (Tab. 7.1-1). Podle scénářů A2 a B1 bude roční průměrný úhrn srážek klesat s časem. Podle scénáře A1B dojde v blízké budoucnosti nejprve k jeho snížení, v období 2046 – 2065 k mírnému zvýšení a následnému výraznému poklesu v budoucnosti vzdálené. Pokles ročního průměrného úhrnu srážek v období 2080 – 2099 se pohybuje mezi 16 a 18,9% oproti Baseline, což znamená snížení na hodnotu 416,7 až 431,3 mm/rok. Největší změnu v období 90. let vykazuje scénář A1B (-18,9%), následuje scénář A2 (-17,3%) a nejmenší snížení ročního průměrného úhrnu srážek můžeme do budoucna očekávat podle scénáře B1 (-16%).

Tab. 7.1-1 Roční průměrný úhrn srážek [°C] a jeho změna oproti Baseline [°C]

	DATA	Baseline	A1B			A2			B1		
			20	55	90	20	55	90	20	55	90
[mm/rok]	452,8	513,7	471,6	493,8	416,7	492,4	447,2	425,0	487,8	461,5	431,3
Změna [%]	-11,8	0,0	-8,2	-3,9	-18,9	-4,1	-12,9	-17,3	-5,0	-10,2	-16,0

### 7.2 MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÝ ÚHRN SRÁŽEK A JEHO ZMĚNY

Z hlediska měsíčních průměrných úhrnů srážek (Tab. 7.2-1 a Tab. 7.2-2) výsledky ukazují na jejich postupné snižování v období přelomu léta a podzimu – konkrétně v měsících Červenec, Srpen, Září a Říjen. Největší změny jsou patrné v měsíci Září (9), kdy průměrný měsíční úhrn srážek dosahuje v období 2080 – 2099 snížení až o 51,8% (scénář A2). Podle scénáře B1 můžeme v 90. letech v měsíci Září očekávat snížení o 50,8%, podle scénáře A1B o 38,6%. Celkově se tedy do období 2080 - 2099 změní měsíční průměrný úhrn v měsíci Září z 94,4 mm/měsíc (Baseline) na 45,6 – 58,0 mm/měsíc. Naopak v zimních měsících – Leden a Prosinec – vidíme zvýšení průměrných měsíčních úhrnů srážek, a to zejména v 90. letech. Výsledky z měsíce Prosinec z období 2080 – 2099 ukazují na jeho zvýšení až o 60,8% (B1), což znamená změnu z 16,3 mm/měsíc (Baseline) na 21,0 (A1B) až 26,2 (B1) mm/měsíc.



## 7.2.1 MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÝ ÚHRN SRÁŽEK [mm/měsíc]

Tab. 7.2-1 Měsíční průměrný úhrn srážek [mm/měsíc] v jednotlivých měsících

měsíc	DATA	Baseline	A1B			A2			B1		
			20	55	90	20	55	90	20	55	90
1	14,5	13,8	10,1	13,9	15,4	11,9	14,0	17,4	11,3	10,3	18,7
2	11,3	16,3	14,7	12,7	15,9	14,8	14,8	17,1	10,7	15,7	22,7
3	19,8	20,2	15,9	32,3	25,1	20,2	22,9	22,1	20,0	32,9	21,7
4	24,3	32,6	31,1	41,0	31,5	34,3	35,0	35,2	31,8	23,6	29,6
5	43,5	51,8	45,6	51,4	42,5	46,4	51,1	42,0	48,0	44,3	49,5
6	51,2	58,8	54,4	67,2	53,1	53,9	45,5	56,8	50,8	59,2	43,1
7	64,3	74,5	71,6	64,0	58,3	76,7	57,6	55,6	74,9	65,0	57,7
8	58,4	63,6	50,7	56,7	39,6	59,2	48,9	43,7	64,8	52,6	40,9
9	<b>83,1</b>	<b>94,4</b>	<b>90,5</b>	<b>62,1</b>	<b>58,0</b>	<b>82,1</b>	<b>61,8</b>	<b>45,6</b>	<b>84,6</b>	<b>80,9</b>	<b>46,4</b>
10	32,1	39,6	35,3	35,6	26,2	37,1	33,0	32,2	37,8	33,7	36,8
11	27,9	31,9	34,9	34,0	30,1	36,4	39,1	34,7	35,1	31,8	38,1
12	17,4	16,3	16,7	22,9	21,0	19,4	23,6	22,6	17,8	11,7	26,2

## 7.2.2 ZMĚNY V MĚSÍČNÍM PRŮMĚRNÉM ÚHRNU SRÁŽEK [% od Baseline]

Tab. 7.2-2 Změna měsíčního průměrného úhrnu srážek oproti Baseline [%] v jednotlivých měsících

měsíc	DATA	Baseline	A1B			A2			B1		
			20	55	90	20	55	90	20	55	90
1	4,6	0,0	-27,1	0,8	11,4	-13,9	1,1	25,9	-18,0	-25,8	34,9
2	-30,5	0,0	-9,8	-21,7	-2,4	-9,1	-9,1	5,5	-34,1	-3,5	39,9
3	-2,1	0,0	-21,3	59,5	24,0	-0,1	13,0	9,1	-1,0	62,4	7,2
4	-25,3	0,0	-4,3	25,8	-3,2	5,5	7,5	8,1	-2,2	-27,6	-9,1
5	-16,0	0,0	-11,8	-0,7	-17,9	-10,4	-1,3	-18,9	-7,3	-14,3	-4,3
6	-12,9	0,0	-7,5	14,4	-9,6	-8,3	-22,5	-3,3	-13,6	0,7	-26,7
7	-13,6	0,0	-3,9	-14,0	-21,8	2,9	-22,7	-25,3	0,6	-12,8	-22,6
8	-8,2	0,0	-20,2	-10,8	-37,7	-6,8	-23,1	-31,2	2,0	-17,3	-35,6
9	<b>-12,0</b>	<b>0,0</b>	<b>-4,1</b>	<b>-34,3</b>	<b>-38,6</b>	<b>-13,0</b>	<b>-34,5</b>	<b>-51,7</b>	<b>-10,3</b>	<b>-14,3</b>	<b>-50,8</b>
10	-19,1	0,0	-11,0	-10,1	-33,8	-6,2	-16,7	-18,6	-4,5	-14,8	-7,2
11	-12,5	0,0	9,4	6,5	-5,6	14,1	22,4	8,6	9,9	-0,4	19,2
12	7,1	0,0	2,7	40,3	29,1	19,1	44,9	38,5	9,5	-28,4	60,8

### 7.3 SMĚRODATNÁ ODCHYLKA OD DENNÍHO ÚHRNU SRÁŽEK [mm/den]

Směrodatná odchylka od denního úhrnu srážek nám ukazuje rozdíl denních hodnot srážkových úhrnů oproti průměrné hodnotě denního úhrnu srážek v konkrétním měsíci. Výsledky ukazují, že na přelomu léta a podzimu dojde v období 2080 – 2099 k výraznému snížení směrodatné odchylky od průměrného denního úhrnu srážek v měsících Červen, Červenec, Srpen, Září a Říjen (Tab. 7.3-1). Největší snížení zaznamenáváme u měsíce Září, kdy dochází ke snížení hodnoty směrodatné odchylky od denního průměrného úhrnu srážek z 15,0 (Baseline) na 7,9 mm/den podle scénáře A1B, 6,1 mm/den podle A2 a 5,7 mm/den podle B1. V zimních měsících (Leden, Prosinec) vidíme naopak v 90. letech zvýšení těchto hodnot. V případě Prosince je to změna ze směrodatné odchylky 1,7 (Baseline) na 2,2 mm/den podle všech scénářů.

Tab. 7.3-1 Směrodatná odchylka od denního úhrnu srážek [mm/den] v jednotlivých měsících

měsíc	DATA	Baseline	A1B			A2			B1		
			20	55	90	20	55	90	20	55	90
1	1,4	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,3	1,6	1,2	1,2	1,7
2	1,6	2,0	1,7	1,6	2,0	1,8	1,9	2,0	1,5	2,2	2,6
3	2,2	2,5	1,7	2,8	2,6	2,2	2,4	2,5	2,2	3,4	2,6
4	2,5	3,0	2,9	3,7	3,2	3,2	3,0	3,1	2,8	2,3	2,8
5	3,2	3,8	3,5	4,0	3,4	3,7	4,0	3,1	3,8	3,6	4,0
6	4,7	4,6	4,6	5,4	4,4	4,4	4,1	4,4	4,4	4,9	3,5
7	6,3	7,2	6,4	6,1	5,3	7,5	5,0	5,3	7,6	6,2	5,8
8	6,0	6,1	6,0	5,7	4,3	6,4	5,5	4,4	6,2	5,0	4,1
9	<b>12,6</b>	<b>15,0</b>	<b>14,5</b>	<b>11,2</b>	<b>7,9</b>	<b>13,0</b>	<b>10,0</b>	<b>6,1</b>	<b>13,2</b>	<b>14,8</b>	<b>5,7</b>
10	3,0	5,1	3,4	3,3	2,2	3,7	3,5	2,9	3,9	3,0	3,5
11	2,4	2,5	2,7	2,6	2,4	2,7	2,7	2,8	2,6	2,6	2,8
12	1,7	1,7	1,7	2,1	2,2	1,8	2,3	2,2	1,9	1,4	2,2

## 7.4 ROČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA A JEJÍ ZMĚNY

Výsledky této práce ukazují na postupné zvyšování průměrné roční teploty s časem ve všech třech použitých scénářích (Tab. 7.4-1). V období 20. let můžeme očekávat nárůst teploty o 0,4°C podle všech scénářů. V období 2046 – 2065 se průměrná roční teplota zvyšuje o 1,3 (B1) až 2,0°C (A1B). V období 90. let se teplota zvyšuje z 10,4 (Baseline) na 12,9 (B1) až 14,0°C (A2). Znamená to zvýšení teploty o 2,5°C oproti Baseline podle scénáře B1, 3,5°C podle A1B a 3,6°C podle A2.

Tab. 7.4-1 Roční průměrná teplota [°C] a její změny od Baseline [°C]

	DATA	Baseline	A1B			A2			B1		
			20	55	90	20	55	90	20	55	90
[°C]	10,1	10,4	10,8	12,4	13,9	10,8	12,0	14,0	10,8	11,7	12,9
Změna [°C]	-0,4	0,0	0,4	2,0	3,5	0,4	1,6	3,6	0,4	1,3	2,5

## 7.5 MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA A JEJÍ ZMĚNY

Zjednodušeně se dá říci, že dojde k rovnoměrnému oteplení v rámci všech měsíců – čili v budoucnu nedochází k výraznému přerozdělení teplot v roce. Hodnoty měsíčních průměrných teplot najdeme v Tab. 7.5-1, jejich změny ve °C od Baseline pak v Tab. 7.5-2. K největšímu oteplení dochází v měsících Srpnu a Září. V Srpnu jde o zvýšení průměrné měsíční teploty z 20,7°C (Baseline) o 2,8 (B1) až 5,1°C (A2) v 90. letech. V Září výsledky ukazují zvýšení měsíční průměrné teploty v období 2080 – 2099 z 16,0 °C (Baseline) na 19,1 až 20,7 °C. Znamená to zvýšení o 3,2 °C oproti Baseline podle scénáře B1, o 4,4 °C podle scénáře A1B a o 4,7 °C podle B1. Výrazné je i oteplení v zimních měsících (Prosinec, Leden, Listopad). Největší změnu průměrné měsíční teploty vykazuje ze zimních měsíců Únor v období 2080 – 2099 podle scénáře A1B, a to navýšení o 3,9 °C od Baseline (1,2 °C). V měsíci Lednu se do 90. let teplota zvýší z 0,0 °C (Baseline) na 2,7 (B1) až 3,7 °C, v Prosinci pak z 0,2 °C na 3,4 (A1B, A2) až 3,5 °C.

## 7.5.1 MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÁ TEPLOTA [°C]

Tab. 7.5-1 Měsíční průměrná teplota [°C] v jednotlivých měsících

měsíc	DATA	Baseline	A1B			A2			B1		
			20	55	90	20	55	90	20	55	90
1	-0,4	0,0	0,1	1,5	3,7	0,1	1,2	3,2	0,0	0,7	2,7
2	1,3	1,2	1,8	3,3	5,0	1,6	2,7	4,8	1,8	2,6	3,3
3	5,5	5,3	6,0	7,4	8,6	5,9	7,0	8,9	6,1	6,9	7,5
4	10,9	10,3	10,6	11,8	12,5	10,6	11,4	13,0	10,7	11,4	12,1
5	15,9	15,5	15,9	16,9	18,4	15,9	16,9	18,4	15,9	16,6	17,7
6	19,0	19,3	19,4	20,8	22,6	19,5	20,9	22,4	19,5	20,1	21,1
7	20,9	20,6	20,7	22,8	24,5	20,6	22,1	24,7	20,9	21,9	22,9
8	21,1	20,7	21,5	23,6	25,3	21,3	22,9	25,8	21,3	22,5	23,5
9	<b>16,0</b>	<b>16,0</b>	<b>16,5</b>	<b>18,7</b>	<b>20,4</b>	<b>16,4</b>	<b>18,1</b>	<b>20,7</b>	<b>16,3</b>	<b>17,8</b>	<b>19,1</b>
10	10,1	9,8	10,6	12,3	13,5	10,4	11,8	13,6	10,3	11,4	12,7
11	5,0	5,4	5,8	7,4	8,6	5,9	7,2	8,5	5,8	6,9	8,2
12	0,0	0,2	0,5	2,0	3,4	0,9	1,7	3,4	0,5	0,7	3,5

## 7.5.2 ZMĚNY V MĚSÍČNÍ PRŮMĚRNÉ TEPLOTĚ [°C od Baseline]

Tab. 7.5-2 Změny měsíční průměrné teploty oproti Baseline [°C]

měsíc	DATA	Baseline	A1B			A2			B1		
			20	55	90	20	55	90	20	55	90
1	-0,4	0,0	0,1	1,5	3,8	0,1	1,2	3,2	0,0	0,7	2,7
2	0,1	0,0	0,6	2,2	3,9	0,5	1,5	3,7	0,6	1,4	2,2
3	0,3	0,0	0,8	2,1	3,3	0,7	1,7	3,6	0,8	1,6	2,2
4	0,6	0,0	0,3	1,5	2,2	0,3	1,1	2,8	0,4	1,1	1,8
5	0,4	0,0	0,3	1,3	2,9	0,3	1,4	2,9	0,3	1,1	2,2
6	-0,4	0,0	0,1	1,4	3,3	0,1	1,5	3,1	0,1	0,7	1,8
7	0,2	0,0	0,0	2,2	3,9	0,0	1,4	4,0	0,3	1,3	2,3
8	0,4	0,0	0,8	2,9	4,6	0,6	2,2	5,1	0,6	1,8	2,8
9	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,5</b>	<b>2,8</b>	<b>4,4</b>	<b>0,4</b>	<b>2,1</b>	<b>4,7</b>	<b>0,3</b>	<b>1,9</b>	<b>3,2</b>
10	0,3	0,0	0,8	2,5	3,7	0,6	2,0	3,8	0,5	1,5	2,9
11	-0,5	0,0	0,4	2,0	3,1	0,5	1,8	3,1	0,3	1,4	2,8
12	-0,2	0,0	0,3	1,8	3,2	0,6	1,4	3,1	0,3	0,4	3,2

## 8 ZÁVĚR

Byly porovnány vygenerované meteorologické charakteristiky tří scénářů z klimatického modelu HadCM3 (IPCC AR4), implementovaných v programu LARS WG. Z výsledků můžeme usuzovat, že průměrné hodnoty teplotních a srážkových charakteristik pozorovatelných v Meteorologické stanici FAST VUT v Brně se do konce 21. století výrazně změní. Podle všech zkoumaných scénářů dojde ke snížení průměrného ročního úhrnu srážek, a to až o 18,9% oproti Baseline. Znamenalo by to snížení průměrného ročního úhrnu až na 416,7 mm/rok. V Jihomoravském kraji je podle ČHMÚ dlouhodobý normál (1961 – 1990) průměrného ročního úhrnu srážek 543 mm/rok, v celé České republice je to potom 674 mm/rok.

Z hlediska rozdělení srážek během roku ukazují výsledky všech použitých scénářů na snížení průměrného měsíčního úhrnu v letních a podzimních měsících a zvýšení v měsících zimních, a to zejména v období 90. let. Při vyjádření průměrných hodnot ze všech tří scénářů v 90. letech pro jednotlivá roční období vychází pokles srážek v letním období o 23,8% oproti Baseline, jeho snížení na podzim (19,8%) a na jaře (0,5%) a zvýšení v zimním období o 27,1%. Podle výsledků Projekt VaV [4] dojde v ČR v období 2070 – 2099 k výraznému poklesu srážek v letních měsících (o cca 13% oproti dlouhodobému průměru), zvýšení na podzim a na jaře (cca 8%) a snížení v zimních měsících (cca 5%), čemuž výsledky této práce silně neodpovídají – souhlasí pouze pokles srážkových úhrnů v letním období. Vysvětlením této neshody může být fakt, že k modelování klimatu byl v Projektu VaV využíván model ALADIN 25, který podle technického shrnutí projektu vybočuje z obecného chování regionálních klimatických modelů v zimním období, kdy simuluje na rozdíl od většiny modelů pokles srážek [4]. Výsledky této práce z hlediska trendu změny zimních úhrnů srážek tedy více zapadají do kontextu ostatních RCM.

Další zkoumanou veličinou byla směrodatná odchylka průměrného denního úhrnu srážek. V podstatě vyjadřuje výskyt extrémních srážkových událostí v konkrétním měsíci, čili srážek, které se nejvíce liší od průměrného denního úhrnu srážek v měsíci. V blízké budoucnosti je rozložení těchto událostí velmi podobné jako jejich rozložení pro Baseline, charakterizované zejména vysokými hodnotami směrodatné odchylky v letních měsících a nižšími v měsících zimních. Do období 90. let dochází k významnému snížení směrodatných odchylek v letních měsících, které ukazuje na menší budoucí výskyt extrémních srážkových událostí v letním období.

Z hlediska průměrných ročních teplot dojde podle všech tří scénářů k jejímu postupnému nárůstu. Podle výsledků této práce se roční průměrná teplota v Brně v 90. letech zvýší na 12,9 až 13,9 °C. Znamená to zvýšení průměrné roční teploty od Baseline (10,4 °C) o 2,5 °C podle scénáře B1, o 3,5 °C podle scénáře A1B a o 3,6 °C podle scénáře A2. Průměrné zvýšení roční teploty v 90. letech je tedy 3,2 °C. Průměrná roční

teplota v České republice se podle výsledků Projektu VaV v období 2070 - 2099 zvýší o 3,3 °C oproti dlouhodobému průměru (1961 - 1990) [4], čemuž výsledky této práce odpovídají. IPCC uvádí v hodnotící zprávě AR4 rozmezí globálního zvýšení průměrné roční teploty v období 2080 - 2099. Pro scénář A1B predikuje zvýšení o 1,7 - 4,4 °C, pro A2 o 2,0 - 5,4 °C a pro B1 o 1,1 - 2,9 °C [5]. Výsledky této práce do těchto globálních rozmezí zapadají, a to i z hlediska míry zvýšení průměrné roční teploty v jednotlivých scénářích.

V rámci této práce byl zkoumán i měsíční chod teploty v roce. Podle výsledků této práce nedochází během roku k přerozdělení průměrných měsíčních teplot, oteplení je zjednodušeně řečeno rovnoměrné během všech měsíců v roce. Výsledky ukazují v období 2080 - 2099 průměrné zvýšení teploty ze všech scénářů v jarním období o 2,6 °C, v létě o 3,4 °C, na podzim o 3,5 °C a v zimním období o 3,2 °C. Podle výsledků Projekt VaV [4] dojde v České republice v období 2070 - 2099 ke zvýšení teploty v letních měsících o 3,5 - 4,7 °C, na podzim a v zimě o 2,6 - 3,1 °C, čemuž se výsledky této práce velmi přibližují.

Výsledky bakalářské práce tedy můžeme shrnout zjednodušeným popisem změn v období 2080 - 2099. Bylo zjištěno, že do budoucna můžeme očekávat snížení průměrného ročního úhrnu o téměř 19%. V letních měsících dojde ke snížení průměrných měsíčních úhrnů srážek, v zimních naopak k jejich mírnému zvýšení. Zároveň můžeme v létě očekávat menší výskyt extrémních srážkových jevů. Takovéto srážkové extrémy mohou být příčinou výskytu povodní i období sucha. Na první pohled tak mohou tyto výsledky působit, že jejich vliv na budoucí hydrologickou bilanci krajiny bude vesměs pozitivní, protože rovnoměrnější rozdělení úhrnu srážek v měsíci by mohl mimo jiné znamenat větší množství vody s možností zasáknout do půdy a naplnit tak zásoby podzemní vody. Musíme však brát zřetel i na výsledky z oblasti průměrných teplot. Ty ukazují, že průměrná roční teplota se do roku 2099 zvýší až o 3,6 °C. Důležité pro odhadnutí důsledků je také zvýšení průměrné měsíční teploty v zimním období z 0,5 °C (Baseline) až na 3,7 °C. Z těchto výsledků můžeme usuzovat, že dojde ke zvýšení hodnot výparu a bude tedy docházet k rychlejšímu úbytku vody z povodí. Vzhledem ke zvýšení teplot v zimních měsících můžeme také předpokládat omezení doplňování zásob podzemní vody z jarního tání sněhové pokrývky. Ve výsledku tedy docházíme k závěru, že vliv klimatické změny na hydrologickou bilanci krajiny bude pravděpodobně spíše negativní.

V rámci této práce byly pomocí programu LARS WG získány denní meteorologické charakteristiky pro možné scénáře vývoje klimatu IPCC z AR4. Bylo zjištěno, že postupem, použitým v této práci lze velmi uspokojivě projektovat budoucí teploty, modelování srážek je však obtížnější vlivem jejich časoprostorové nahodilosti a

rozmanitosti. Jedním z možných budoucích rozšíření této práce je zahrnout do jejího řešení vliv nejistot jednotlivých klimatických modelů, klimatických scénářů a nejistot výpočtu programu LARS WG. Další možností je snaha o popsání vazeb denní řady průtoků v určeném měrném profilu na řadu denních meteorologických měření a následná aplikace klimatických scénářů na tyto průtokové řady. Do budoucna by tak bylo možné určit například změny hladiny v konkrétní vodní nádrži podle možného vývoje společnosti, upravovat návrhy objemů nádrží s ohledem na budoucí klima nebo posoudit objemy stávající.

Fakt, že klima planety Země prochází viditelnými změnami, je nevyvratitelný. Otázkou zůstává, zda bude naší snahou zmírnit antropogenní vlivy na tuto změnu, nebo se jí pouze přizpůsobit. Ať tak či onak, je nutné se změny klimatu snažit popsat a porozumět jim, abych měli možnost zaujmout nějaké stanovisko.

## 9 SEZNAM CITACÍ

[1] Cretaceous Climate. *OPEN EARTH SYSTEMS* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://openearthsystems.org/data/readings/Cretaceous-modeling-papers/Cretaceous%20Climate-2/>

[2] *Mapy Google* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps>

[3] Meteostanice. *Ústav vodního hospodářství krajiny: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební* [online]. 2015 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/cs/meteostanice>

[4] *Projekt VaV – SP/1a6/108/07 Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření: TECHNICKÉ SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ PROJEKTU 2007 – 2011* [online]. Ministerstvo životního prostředí [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav\\_TECHNICKE\\_SHRNU TI\\_2011.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav_TECHNICKE_SHRNU TI_2011.pdf)

[5] *Climate Change 2007: Synthesis Report: An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [online]. 2007, s. 45 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf).



## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AILLIOT, Pierre, Denis ALLARD, Valérie MONBET a Philippe NAVEAU. *Stochastic weather generators: an overview of weather type models* [online]. Rennes, 2015 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: [https://perso.univ-rennes1.fr/valerie.monbet/doc/papiers\\_pdf/SWGEN\\_review.pdf](https://perso.univ-rennes1.fr/valerie.monbet/doc/papiers_pdf/SWGEN_review.pdf)
2. KARIMI, Sepideh, Saeed KARIMI, Ahmad Reza YAVARI a Mohamad Hosein NIKSOKHAN. Prediction of Temperature and Precipitation in Damavand Catchment in Iran by Using LARS -WG in Future. In: *Science Publishing Group* [online]. 2015 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://article.sciencepublishinggroup.com/html/10.11648.j.earth.20150403.12.html>
3. NAKICENOVIC, Nebojsa a Rob SWART (eds.). *Emissions Scenarios* [online]. IPCC: Cambridge University Press, 2000 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission>
4. SEMENOV, Mikhail A. a Elaine M. BARROW. LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies: Developed by Mikhail A. Semenov - Version 3.0 - User Manual [online]. Rothamsted Research, 2002 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/groups/mas-models/download/LARS-WG-Manual.pdf>
5. SEMENOV, MA a P STRATONOVITCH. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research* [online]. 2010, **41**, 1-14 [cit. 2016-05-20]. DOI: 10.3354/cr00836. ISSN 0936-577x. Dostupné z: <http://www.int-res.com/abstracts/cr/v41/n1/p1-14/>
6. *Climate Change 2007: Synthesis Report: An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [online]. 2007 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf).
7. Co je globální změna klimatu? ZMĚNAKLIMATU.CZ [online]. Klimatická koalice, 2007 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.zmenaklimatu.cz/cz/fakta/zmena-klimatu>

8. *ENSEMBLES* [online]. Met Office, 2009 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://ensembles-eu.metoffice.com>
9. HadCM3. *The Climate Commons: California Landscape Conservation Cooperative* [online]. 2014 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://climate.calcommons.org/model/hadcm3>
10. Historická data - meteorologie a klimatologie. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zakladni-informace>
11. *IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change* [online]. IPCC [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.ipcc.ch>
12. *Projekt VaV – SP/1a6/108/07 Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření: TECHNICKÉ SHRNUÍ VÝSLEDKŮ PROJEKTU 2007 – 2011* [online]. Ministerstvo životního prostředí [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav\\_TECHNICKE\\_SHRNUTI\\_2011.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav_TECHNICKE_SHRNUTI_2011.pdf)
13. *PRUDENCE* [online]. Danish Meteorological Institute, 2001 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://prudence.dmi.dk>
14. Směrodatná odchylka. *Matematika.cz* [online]. Brno: Nová média, s. r. o., 2006 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.matematika.cz/smerodatna-odchylka>

# 11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.2-1 Zjednodušené schéma scénářů SRES IPCC podle vývoje společnosti .....	3
Obr. 3.3-1 Vývoj množství složek zahrnutých do GCMs [1].....	4
Obr. 6.1-1 Umístění meteorologické stanice v areálu FAST VUT [2].....	12
Obr. 6.1-2 Pohled z meteorologické stanice FAST VUT [3].....	12
Obr. 6.1-3 První část dat z Meteostanice FAST s vyznačenými záznamy měření teplot (°C) a srážek (mm).....	13
Obr. 6.1-4 Řídicí soubor Meteo.st, obsahující informace o datech z meteorologické stanice FAST VUT, odkazující na soubor Měřená_data.dat (Obr. 6.1-5).....	14
Obr. 6.1-5 Soubor s měřenými daty, strukturovanými podle řídicího souboru Meteo.st.....	15
Obr. 6.2-1 Okno pro změnu adresářů, vyvolané tlačítkem Options.....	15
Obr. 6.2-2 Okno Site Analysis s adresou řídicího souboru .....	16
Obr. 6.2-3 Okno možností pro QTest.....	16
Obr. 6.2-4 Okno Generator s možnostmi pro generování umělé řady dat .....	17
Obr. 6.2-5 Výstup z generátoru - umělá řada denních meteorologických charakteristik.....	18
Obr. 6.2-6 Výstup z generátoru – řídicí soubor .....	18
Obr. 6.3-1 Schéma zpracovávaných dat .....	19
Obr. 6.3-2 Průměrný roční úhrn srážek dle scénáře A1B a jeho změny .....	20
Obr. 6.3-3 Průměrný roční úhrn srážek dle scénáře A2 a jeho změny .....	20
Obr. 6.3-4 Průměrný roční úhrn srážek dle scénáře B1 a jeho změny .....	21
Obr. 6.3-5 Průměrný roční úhrn srážek v období 2011 - 2030 a jeho změny .....	21
Obr. 6.3-6 Průměrný roční úhrn srážek v období 2046 - 2065 a jeho změny .....	21
Obr. 6.3-7 Průměrný roční úhrn srážek v období 2080 - 2099 a jeho změny .....	22
Obr. 6.3-8 Průměrné měsíční úhrny srážek dle scénáře A1B.....	22
Obr. 6.3-9 Průměrné měsíční úhrny srážek dle scénáře A2 .....	23
Obr. 6.3-10 Průměrné měsíční úhrny srážek dle scénáře B1 .....	23
Obr. 6.3-11 Průměrné měsíční úhrny srážek v období 2011 – 2030 .....	24
Obr. 6.3-12 Průměrné měsíční úhrny srážek v období 2046 – 2065 .....	24
Obr. 6.3-13 Průměrné měsíční úhrny srážek v období 2080 - 2099 .....	25
Obr. 6.3-14 Průměrný měsíční úhrn srážek v měsíci Září dle scénáře A1B a jeho změny .....	25
Obr. 6.3-15 Průměrný měsíční úhrn srážek v měsíci Září dle scénáře A2 a jeho změny .....	26
Obr. 6.3-16 Průměrný měsíční úhrn srážek v měsíci Září dle scénáře B1 a jeho změny .....	26
Obr. 6.3-17 Průměrný měsíční úhrn srážek v měsíci Září v období 2011 - 2030 a jeho změny .....	26

Obr. 6.3-18 Průměrný měsíční úhrn srážek v měsíci Září v období 2046 - 2065 a jeho změny .....	27
Obr. 6.3-19 Průměrný měsíční úhrn srážek v měsíci Září v období 2080 - 2099 a jeho změny .....	27
Obr. 6.3-20 Směrodatná odchylka od průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících dle scénáře A1B .....	28
Obr. 6.3-21 Směrodatná odchylka od průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících dle scénáře A2 .....	28
Obr. 6.3-22 Směrodatná odchylka od průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících dle scénáře B1 .....	29
Obr. 6.3-23 Směrodatná odchylka od průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících v období 2011 - 2030 .....	29
Obr. 6.3-24 Směrodatná odchylka od průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících v období 2046 - 2065 .....	30
Obr. 6.3-25 Směrodatná odchylka od průměrného denního úhrnu srážek v jednotlivých měsících v období 2080 - 2099 .....	30
Obr. 6.3-26 Průměrná roční teplota dle scénáře A1B a její změny .....	31
Obr. 6.3-27 Průměrná roční teplota dle scénáře A2 a její změny .....	31
Obr. 6.3-28 Průměrná roční teplota dle scénáře B1 a její změny .....	32
Obr. 6.3-29 Průměrná roční teplota v období 2011 - 2030 a její změny .....	32
Obr. 6.3-30 Průměrná roční teplota v období 2045 - 2065 a její změny .....	32
Obr. 6.3-31 Průměrná roční teplota v období 2080 - 2099 a její změny .....	33
Obr. 6.3-32 Měsíční průměrné teploty dle scénáře A1B .....	33
Obr. 6.3-33 Měsíční průměrné teploty dle scénáře A2 .....	33
Obr. 6.3-34 Měsíční průměrné teploty dle scénáře B1 .....	33
Obr. 6.3-35 Měsíční průměrné teploty v období 2011 - 2030 .....	35
Obr. 6.3-36 Měsíční průměrné teploty v období 2046 - 2065 .....	35
Obr. 6.3-37 Měsíční průměrné teploty v období 2080 - 2099 .....	36
Obr. 6.3-38 Průměrná měsíční teplota v měsíci Září dle scénáře A1B a její změny .....	36
Obr. 6.3-39 Průměrná měsíční teplota v měsíci Září dle scénáře A2 a její změny .....	37
Obr. 6.3-40 Průměrná měsíční teplota v měsíci Září dle scénáře B1 a její změny .....	37
Obr. 6.3-41 Průměrná měsíční teplota v měsíci Září v období 2011 - 2030 a její změny .....	37
Obr. 6.3-42 Průměrná měsíční teplota v měsíci Září v období 2046 - 2065 a její změny .....	38
Obr. 6.3-43 Průměrná měsíční teplota v měsíci Září v období 2080 - 2099 a její změny .....	38

## 12 SEZNAM TABULEK

Tab. 7.1-1 Roční průměrný úhrn srážek [°C] a jeho změna oproti Baseline [°C].....	39
Tab. 7.2-1 Měsíční průměrný úhrn srážek [mm/měsíc] v jednotlivých měsících.....	40
Tab. 7.2-2 Změna měsíčního průměrného úhrnu srážek oproti Baseline [%] v jednotlivých měsících .....	40
Tab. 7.3-1 Směrodatná odchylka od denního úhrnu srážek [mm/den] v jednotlivých měsících.....	41
Tab. 7.4-1 Roční průměrná teplota [°C] a její změny od Baseline [°C] .....	42
Tab. 7.5-1 Měsíční průměrná teplota [°C] v jednotlivých měsících.....	43
Tab. 7.5-2 Změny měsíční průměrné teploty oproti Baseline [°C] .....	43